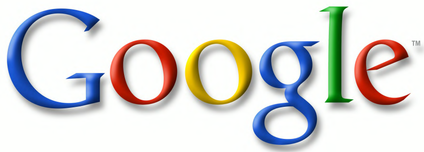
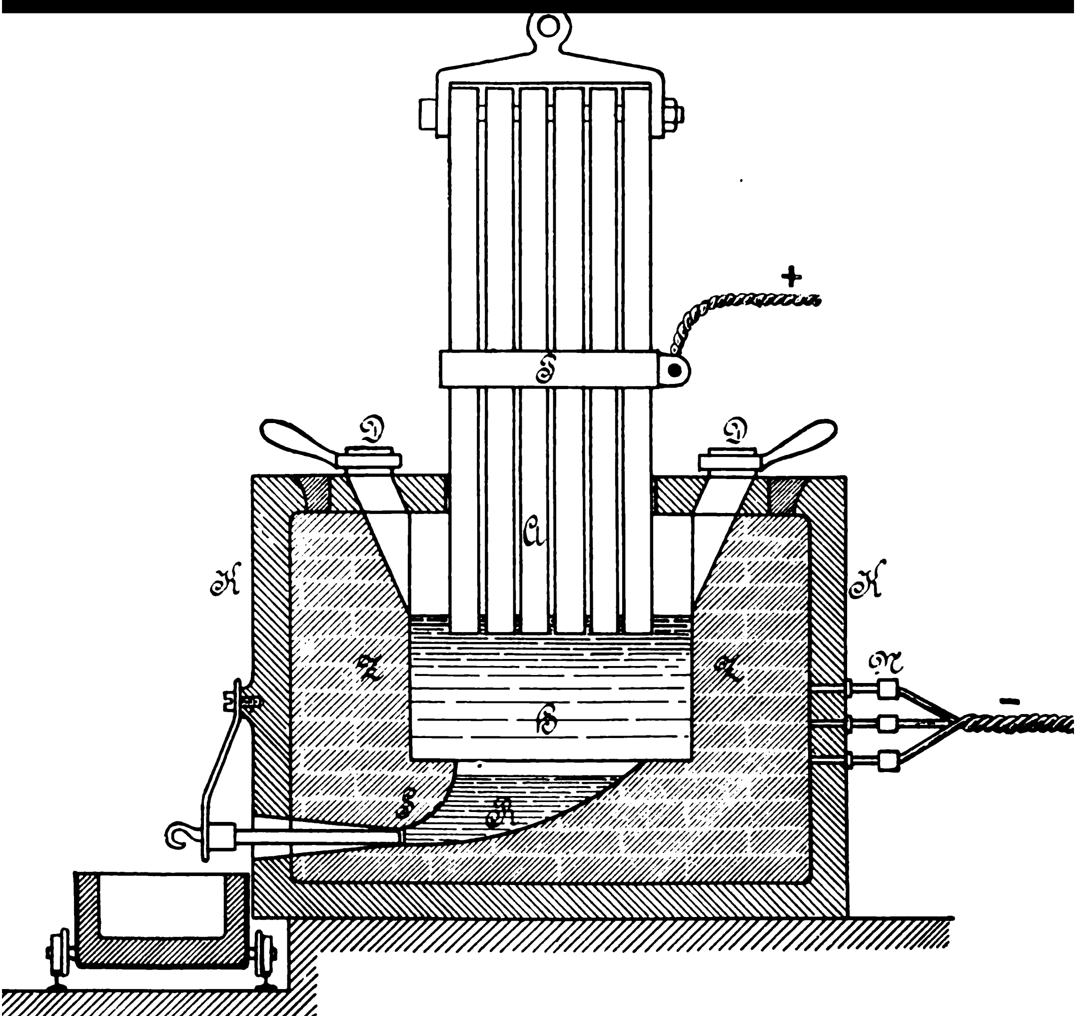




Grundriss der Elektrotechnik

Heinrich Kratzert

GRUNDRISS

DER

ELEKTROTECHNIK

für den praktischen Gebrauch,
für Studierende der Elektrotechnik und
zum Selbststudium.

Verfasst von

Heinrich Kratzert,

k. k. Professor für Elektrotechnik an der k. k. Staatsgewerbeschule in Wien, X.,
vorm. Oberingenieur etc. der Vereinigten Elektricitäts-A.-G. in Wien und Chef-
Elektriker etc. der Siemens & Halske A.-G.

II. Theil, 4. Buch.

2. Auflage.

Elektrochemie.

Mit 94 Abbildungen.

LEIPZIG UND WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1902.

Thermoelemente, Konstructionen der Thermosäulen, Eintheilung der Thermoelemente, Weitere Constructionen von Thermosäulen, Erwärmung und Abkühlung der Löthstellen. V. Theorie der Thermoströme und Thermoelemente: Thermoströme, Gesetze der Thermoströme, Thermoelektrische Spannungsreihe, Wirkungsgrad der Thermosäulen. VI. Untersuchung und Prüfung von Primär-Elementen, Widerstand der Elemente, Wirkungsgrad der Elemente, Kosten der Elemente, Rein elektrischer Wirkungsgrad, Verbrauch an Material, Untersuchung der Elemente. VII. Prüfung von Thermoelementen und Thermosäulen: Vorgang, Versuche, Resultate. VIII. Schaltung der Elemente: Hintereinanderschaltung, Nebeneinanderschaltung, Gemischte Schaltung, Gegeneinanderschaltung.

Besonders berücksichtigt erscheinen diejenigen Konstruktionen, welche zumeist Verwendung finden. Die in der Praxis in allererster Linie stehenden Elemente sind am ausführlichsten behandelt. Das gilt z. B. von dem Daniell-, Meidinger- und Leclanché-Elementen.

III. Kapitel (S. 77 bis 130.) Akkumulatoren: I. Grundlehren: Wesen, Konstruktion, Ladung und Entladung, Dichte der Säure. Stromstärke, Stromdichte, Innerer Widerstand, Kapacität, Güteverhältnis, Prüfung und Untersuchung der Zellen, Vorsichtsmaßregeln, Schaltungen, Beanspruchung der am Zellenschalter liegenden Zellen, Maschinenumschalter, Parallelbetrieb und Wahl der Ladezeit, Anordnung des Stromzeigers und des Stromzeigerumschalters, Mitbrennen von Lampen während der Ladung, Zellenschalter, Aufstellung des Sammlers, Anwendungen des Sammlers, Nachtheile der Sammler. II. Praktische Konstruktionen: Sammler mit massiven Platten, mit Gitterplatten, mit halbfestem Elektrolyt, Bekanntmachung, betreffend die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Herstellung elektrischer Akkumulatoren aus Blei oder Bleiverbindungen.

Die neue Auflage bringt durchwegs neueste Konstruktionen erster Firmen, berücksichtigt auch die Ergebnisse der Pariser Weltausstellung (1900) und die obige Bekanntmachung der deutschen Reichsregierung, welche Gesundheitsregeln und in gedrängter Form außerordentlich viel Lehrreiches enthalten. Zum erstenmale erscheinen an dieser Stelle: Zellenschalter der Fabrik elektrischer Apparate, Akkumulatoren für Automobile, Akkumulatoren der Firmen Akkumulatorenwerke, System Pollak, Wüste & Rupprecht und der Elektricitätswerke A.-G. vorm. Boese & Co.

IV. Kapitel. (S. 131 bis 160.) Galvanoplastik: Begriff. I. Niederschläge in dünnen Schichten: Decapierung, Ausglühung oder Entfettung, Beizen, Passieren durch altes Scheidewasser, durch Scheidewasser und Kienruß, durch salpetersaures Quecksilberoxyd, Decapierung

von Silber, Zink, Blei, Zinn, Gusseisen, Stabeisen, Stahl, Stromlieferung, Elektrische Batterien, Dynamomaschinen für galvanoplastische Zwecke, Schaltungsschemata, Verkupferung, In der Kälte wirkendes Bad für Eisen und Stahl, Bad für Messing, Eisen und Zink, Herstellung und Vorbereitung der Bäder, Vermessingung, Verzinnung, Vergoldung, Versilberung, Vernickelung, Verzinkung. — II. Erzeugung dicker Niederschläge: Aufgabe der Galvanoplastik, Das Bad, Ausführung der Verkupferung, Bleibender Niederschlag auf Metall, Nicht bleibender Niederschlag auf Metall, Galvanoplastischer Niederschlag auf nicht metallischen Körpern, Galvanoplastische Niederschläge auf Formen, Galvanoplastisches Abformen mit Zerstörung der Form, Anwendung der Galvanoplastik in der Buchdruckerkunst, Galvanoplastik in Gold und Silber, Gravierung, Bronzierung.

Dieses Kapitel erscheint im Vergleich mit der alten Auflage vervielfacht.

V. Kapitel. (S. 161 bis 182). Elektrometallurgie: Zweck, Metallgewinnung auf nassem Wege, Kupfergewinnung, Schaltung der Bäder, Gewinnung von Zink, Nickel, Gold, Silber und Platin, Elektrolytische Metallgewinnung aus feurigflüssigem Elektrolyt, Gewinnung von Natrium, Kalium, Magnesium und Aluminium, Elektrothermische Verfahren, Gewinnung von Kalciumkarbid.

VI. Kapitel. (S. 182 bis 191.) Elektrolytische Darstellung von Wasserstoff, Sauerstoff, Ozon, Chlor, Bleichflüssigkeiten, Alkali und Mineralfarben.

VII. Kapitel. (S. 191 bis 192). Der galvanische Strom in der organischen Chemie: Allgemeines, Strom als Reinigungsmittel, Gerben.

Die Kapitel V, VI und VII erscheinen zum erstenmale und entsprechend dem augenblicklichen Stande dieser Zweige der Elektrotechnik in diesem Grundrisse.

VIII. Kapitel. (S. 192.) Herstellung künstlicher Diamanten.

Was die Wissenschaft Jahrtausende lang vergebens gesucht, die moderne Elektrotechnik hat es in so kurzer Zeit gefunden. Die neue Auflage enthält somit auch die Lösung eines der größten Probleme aller Zeiten und Völker, wenngleich es der Zukunft immer noch vorbehalten bleibt, die bisher leider so kleinen Edelsteine größer zu gestalten und dadurch voll und ganz ihrem Zwecke zuzuführen.

Anhang. Verordnung der k. k. österreichischen Ministerien des Inneren, des Handels und der Eisenbahnen vom 14. November 1901,

betreffend die Herstellung und Verwendung von Kalciumkarbid und Acetylen, sowie den Verkehr mit diesen Stoffen.

Diese Verordnung aus jüngster Zeit enthält so wichtige Bestimmungen, dass die Wiedergabe derselben für den Elektrochemiker von ganz besonderem Interessse sein dürfte.

Namen- und Sachverzeichnis.

Im Einklange mit den neueren Anschauungen über das Wesen der Elektricität ist in der neuen Auflage die Bezeichnung „elektrischer „Strom" durchwegs durch jene „galvanischer Strom" ersetzt. Die erstere Bezeichnung stammt bekanntlich von der Eigenschaft des Bernsteins (Elektron) her und eignet sich nur für die Erscheinungen der ruhenden (statischen) Elektricität.

Diese Auflage erscheint bedeutend vermehrt, Altes wurde ausgeschieden, durch Neues ersetzt und das gesammte, behandelte Gebiet übersichtlich wiedergegeben. Der Anfänger insbesondere dürfte dadurch leicht in die so umfangreiche Wissenschaft eingeführt werden. Der Verfasser zählte auch unter die Besucher der Pariser Weltausstellung (1900); die hervorragendsten Sehenswürdigkeiten derselben erscheinen in der neuen Auflage berücksichtigt.

Damit sei diese Arbeit geschlossen und allen Dank gesagt, welche an derselben Antheil genommen haben.

Wien, im Jänner 1902.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

Elektrochemie.

Seite

Elektrochemie.

I. Kapitel.

Theorie.

1. Grundbegriffe. Wir scheiden die Naturkörper, in Bezug auf ihre elektrische Leitungsfähigkeit, in elektrische Leiter und elektrische Nichtleiter oder Isolatoren. Die elektrischen Leiter selbst zerfallen wieder in zwei Gruppen. Die erste Gruppe ist die der Leiter erster Klasse oder metallische Leiter, die zweite Gruppe ist die der Leiter zweiter Klasse oder Elektrolyte. Wenn der Strom durch einen Leiter erster Klasse fließt, dann wird dieser Leiter fast gar nicht verändert. Die elektrische Energie (Arbeit) setzt sich lediglich in Wärme um.

Erhöhen wir bei einem Leiter erster Klasse die Temperatur, dann wächst sein elektrischer Widerstand. Erhöhen wir bei einem Leiter zweiter Klasse die Temperatur, dann nimmt sein elektrischer Widerstand ab. Fließt ein galvanischer Strom durch einen Elektrolyten, dann wird die elektrische Energie (Arbeit) nicht nur in Wärme umgesetzt, sondern dieselbe dient auch theilweise dazu, den Leiter in seiner chemischen Zusammensetzung zu verändern.

Elektrolyte sind zunächst die Säuren, Basen und Salze. Nicht jeder zusammengesetzte Körper ist ein Elektrolyt. Auch diese zerfallen in leitende und nichtleitende Körper. Es kann sogar ein und derselbe Körper einmal leitend und das andere Mal nichtleitend sein. Auf die Leitfähigkeit hat nämlich nicht nur die chemische Zusammensetzung, sondern auch der Aggregatzustand und der Grad der Reinheit der Körper einen Einfluss. Kohlrausch behauptet, dass kein unvermischter Körper bei gewöhnlicher Temperatur ein Elektrolyt ist. Chemisch reines Wasser z. B. ist ein absoluter Nichtleiter für den galvanischen Strom. Erst der Zusatz von Säure, wenn auch in ganz geringer Menge, macht das Wasser zu einem elektrischen Leiter. Diese Thatsache wurde auch von Kohlrausch versuchsweise bestätigt. Glas ist im festen Zustande ein Isolator, im geschmolzenen Zustande ein Leiter erster Klasse. Nach-

dem sowohl die chemischen als auch die physikalischen Eigenschaften eines Körpers bei der Beurtheilung, ob dieser Körper durch Elektrolyse zersetzbar ist, maßgebend sind, kann man in vielen Fällen nicht voraussagen, wie sich ein bestimmter Körper elektrolytisch verhalten wird. Zu den Elektrolyten gehören diejenigen Verbindungen, welche die Halogene: Fluor, Chlor, Brom und Jod und außerdem Sauerstoff und Schwefel enthalten. Bei jedem Elektrolyten haben wir zwischen dem wahren Widerstand und dem scheinbaren Widerstand zu unterscheiden. Der wahre Widerstand ist derjenige, der für die Wärmearbeit maßgebend erscheint, welche ein Strom leistet, wenn er durch den Elektrolyten fließt. Diesen Widerstand ergibt die Formel:

$$w = c \cdot \frac{l}{q},$$ (I. Th. 1. B. S. 17),

in welcher Formel c den specifischen Widerstand des Elektrolyten, l seine Länge und q seinen Querschnitt bedeutet. Wie schon erwähnt, nimmt der specifische Widerstand eines Elektrolyten mit wachsender Temperatur ab. Der scheinbare Widerstand eines Elektrolyten ergibt sich, wenn man die zwischen den Elektroden herrschende Spannung durch die Stromstärke dividiert.

Um darum den wahren Widerstand eines Elektrolyten zu bestimmen, muss man andere Methoden verwenden als die, welche gebräuchlich sind, den Widerstand eines durch einen galvanischen Gleichstrom nicht zersetzbaren Leiters zu bestimmen. Die am häufigsten angewendete Methode ist die von Kohlrausch, welche eine Wheatstone'sche Brückenschaltung verwendet, bei welcher statt Gleichstrom, der von der Sekundärspule eines Induktionsapparates gelieferte Wechselstrom verwendet wird, denn dieser zersetzt den Elektrolyten nicht.

Schickt man durch einen Elektrolyten einen galvanischen Strom, so wird der Elektrolyt durch denselben chemisch zersetzt. Die in den Elektrolyten ragenden Stromzu- und Abführungstheile nennt man die Elektroden. Die Elektrode, bei welcher der Strom eintritt, nennt man die positive Elektrode oder die Anode. Die Elektrode, bei welcher der Strom den Elektrolyten verlässt, nennt man negative Elektrode oder Kathode. Die Bestandtheile, in welche der Elektrolyt beim Stromdurchgang zerfällt, wandern im Elektrolyten in ganz bestimmter Richtung und scheiden sich an den Elektroden ab. Diese wandernden Theile nennt man Ionen. Anion heißt dasjenige Ion, welches sich an der Anode, Kation dasjenige, welches sich an der Kathode abscheidet.

Zersetzt man Metallsalze durch den galvanischen Strom, dann scheidet sich erfahrungsgemäß das Metall an der Kathode ab. Besteht

bei einem solchen Zersetzungsprocesse die Anode aus dem gleichen Metalle, dann löst sich im Verlaufe der Elektrolyse fortwährend Metall von der Anode ab und geht in den Elektrolyten über.

Nach ihrem elektrolytischen Verhalten theilt man die chemischen Elemente in elektropositive und in elektronegative. Die erste Gruppe umfasst die Metalle, die zweite Gruppe die Metalloide. Die Metallatome denkt man sich positiv elektrisch, die Atome der Metalloide negativ elektrisch geladen. Die positiv elektrischen Metallatome werden dann von der negativ elektrisch geladenen Kathode angezogen, die negativ elektrischen Metalloide von der positiv elektrisch geladenen Anode.

Ein für das Verständnis der Vorgänge bei der Elektrolyse wichtiger Begriff ist der der Wertigkeit oder Valenz der Atome.

Die Atome der verschiedenen chemischen Elemente haben nämlich die Eigenschaft, sich mit einer ganz bestimmten Anzahl von Wasserstoffatomen zu verbinden, um eine gesättigte Verbindung zu geben, das heißt, eine solche Verbindung, welche nicht mehr Wasserstoffatome oder Atome eines anderen Elementes aufzunehmen vermag. So ist z. B. Chlor einwertig, Sauerstoff zweiwertig, Stickstoff dreiwertig, Kohlenstoff vierwertig u. s. f.

Ein weiterer wichtiger Begriff ist der des Äquivalenzgewichtes. Die Chemie hat versuchsweise bewiesen, dass sich die verschiedenen Elemente in ganz bestimmten Gewichtsverhältnissen mit einander verbinden.

Nehmen wir z. B. die chemische Verbindung Wasser. Ein Molekül Wasser besteht aus 2 Atomen Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff. Die Chemie hat nun gefunden, dass 1 *g* Wasserstoff sich immer mit 8 *g* Sauerstoff verbindet. Oder denken wir uns die Verbindung Silbernitrat, eine chemische Verbindung, die aus einem Atom Silber, einem Atom Stickstoff und drei Atomen Sauerstoff besteht. Mit Benützung der in der Chemie für die einzelnen chemischen Elemente gebräuchlichen Zeichen kann man diese Verbindung durch die Formel $AgNO_3$ darstellen. Gießen wir zu einer Lösung dieses Silbersalzes in Wasser Salzsäure dazu, eine Verbindung, die aus einem Atom Wasserstoff und einem Atom Chlor besteht und durch die Formel HCl dargestellt werden kann, dann tritt an die Stelle des Silbers im Silbernitrat der Wasserstoff der Salzsäure, und das Silber verbindet sich mit dem Chlor der Salzsäure. Nun zeigt es sich, dass an die Stelle je eines Gewichtstheiles Wasserstoff 108 Gewichtstheile Silber treten. 108 ist das Äquivalenzgewicht des Silbers.

Diese Zahl drückt also aus, wie viele Gewichtstheile des Elementes imstande sind, 1 Gewichtstheil Wasserstoff in den chemischen Verbindungen zu ersetzen.

Eine, insbesondere in der Galvanoplastik wichtige Verbindung ist das Kupfersulfat, darstellbar durch die Formel $CuSO_4$. Diese chemische Verbindung kann gewonnen werden, indem man Kupfer in koncentrierter heißer Schwefelsäure, H_2SO_4, löst. Bei diesem chemischen Processe tritt an Stelle der zwei Wasserstoffatome der Schwefelsäure ein Atom Kupfer. Bezeichnet man das Atomgewicht des Wasserstoffes mit 1, dann ist das Atomgewicht des Kupfers, wie es die Chemie durch sorgfältige Messungen festgestellt hat, 63. Die beiden Wasserstoffatome des Schwefelsäuremoleküls repräsentieren das Gewicht 2. An die Stelle dieses Gewichtes tritt das Gewicht 63. Das Äquivalenzgewicht des Kupfers ist also $\frac{63}{2}$. Allgemein kann man sagen:

Das Atomgewicht eines chemischen Elementes ist gleich dem Produkte aus seiner Wertigkeit und seinem Äquivalenzgewichte.

Wenn sich eine chemische Verbindung bildet, wird Wärme frei, es ist dies die sogenannte Verbindungswärme. Es wird Energie in Form von Wärme frei. Wenn man andererseits eine chemische Verbindung in Bestandtheile zerlegen will, dann muss man der Verbindung Energie in irgend einer Form zuführen. Die zugeführte Energieform kann z. B. Wärmeenergie sein. Bei den von uns später zu betrachtenden elektrolytischen Zersetzungen wird die Energie als elektrische Energie zugeführt.

2. Faraday'sche Gesetze. Diese Gesetze sind von besonderer Bedeutung für die Elektrolyse. Das erste Gesetz lautet:

Die Menge der durch den galvanischen Strom ausgeschiedenen, chemischen Bestandtheile, einzeln oder zusammen genommen, ist proportional der bei der Zersetzung angewandten Stromstärke und der Zeitdauer, während welcher der Strom durch den Elektrolyten fließt.

Dieses einfache Gesetz bezieht sich also auf die Zersetzung eines und desselben Elektrolyten durch den galvanischen Strom.

Das zweite Gesetz bezieht sich auf die Wirkung eines und desselben Stromes auf verschiedene Elektrolyte. Dasselbe lautet:

Die durch den gleichen Strom in gleichen Zeiten aus verschiedenen Elektrolyten ausgeschiedenen chemischen Bestandtheile sind einander äquivalent.

Wir wollen dieses Gesetz auf Grund der folgenden Versuchsresultate erläutern.

Denken wir uns folgende Versuchsanordnung: Wir leiten einen Strom von der Stärke 1 Ampère durch 3 hintereinander geschaltete elektrolytische Bäder. In der ersten Zelle befindet sich als elektrolytische Flüssigkeit Wasser, in der zweiten Kupfersulfat und in der dritten Silbernitrat. Fließt der Strom durch diese 3 Elektrolyte, dann werden dieselben chemisch zerlegt. Das Wasser zerfällt in seine beiden Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff. Diese beiden sich entwickelnden Gase fangen wir zusammen auf. Das Gasgemisch nennt man Knallgas. In der 2. Zelle wird aus dem Kupfersulfat das Kupfer entfernt und auf der Kathode niedergeschlagen. In der 3. Zelle schließlich wird das aus dem Silbernitrat frei werdende *Ag* auf der Kathode abgesetzt. Misst man nun die auf diesem Wege in einer Minute vom Strome, mit der Stärke 1 Ampère, ausgeschiedenen Mengen Knallgas, Kupfer und Silber, dann findet man folgende Ergebnisse:

1 Ampère scheidet in einer Minute aus:

10·44 cm^3 Knallgas (0^0,760 *mm Hg*), 19·68 *mg* Kupfer, 67·09 *mg* Silber, 5·6 *mg* Wasser.

Die letztere Zahl bedeutet das in Wasser zurückverwandelte Quantum des ausgeschiedenen Knallgases.

Fragen wir nun nach den ausgeschiedenen Gewichtsmengen von Wasserstoff und Sauerstoff. Wir erwähnten schon vorhin, dass sich bei der Bildung von Wasser immer 1 Gewichtstheil Wasserstoff mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff zu 9 Gewichtstheilen Wasser vereinigen. Dividieren wir demnach die Zahl 5·6 durch 9, dann erhalten wir 0·622. Diese Zahl bedeutet die Menge des ausgeschiedenen Wasserstoffes in Milligramm. Nun fanden wir aber, dass von demselben Strome in der gleichen Zeit 67·09 *mg* Silber ausgeschieden werden. Der Quotient

$$\frac{67{\cdot}09}{0{\cdot}622} = 107{\cdot}86 \backsim 108.$$

108 ist aber das Äquivalenzgewicht des Silbers.

Das gleiche Resultat finden wir bei der Elektrolyse des Kupfers. Der Quotient $\frac{19{\cdot}68}{0{\cdot}622} = 31{\cdot}64 \backsim 31{\cdot}5$. 31·5 ist das Äquivalenzgewicht des Kupfers. Dass die Quotienten nicht völlig mit den Äquivalenzzahlen übereinstimmen, hat seinen Grund lediglich in Beobachtungsfehlern.

Eine wichtige Anwendung findet dieses gesetzmäßige Verhalten bei der Elektrolyse in der elektrischen Messkunde, indem wir nämlich leicht aus der von einem galvanischen Strome ausgeschiedenen Knall-

gas-, Kupfer- oder Silbermenge und der Zeit, während welcher das elektrolytische Verfahren währte, auf die Stromstärke schließen können.

Diese beiden eben erwähnten Gesetze und die vorhin erwähnten elektrolytischen Versuchsresultate bilden mit den auf gleichem Wege gefundenen anderer Elektrolyte die Grundlage der theoretischen Metallurgie.

Bezeichnet man die von dem Strome 1 in der Zeit 1 aus einem Elektrolyten ausgeschiedene Metallmenge mit g, dann wird vom Strome i in der Zeit t eine Gewichtsmenge ausgeschieden:

$$G = g \, . \, i \, . \, t \quad . \; . \; . \; . \; . \; 1.$$

Nachdem es also mit Hilfe dieser Gleichung leicht ist, bei einem elektrolytischen Verfahren die ausgeschiedene Gewichtsmenge zu berechnen, kann sie z. B. dazu dienen, die Material-Selbstkosten, etwa bei einer Vergoldung, zu rechnen. Aus der Gleichung 1 folgt:

$$i = \frac{G}{g \, . \, t} \quad . \; . \; . \; . \; . \; 2.$$

Diese Gleichung ist wichtig, um z. B. die Größe der maschinellen Anlage eines metallurgischen Werkes zu berechnen. Man kennt die täglich zu erzeugende Gewichtsmenge G und kann mit Hilfe dieser Gleichung die nothwendige Stromstärke rechnen, welche Größe bestimmend ist für die Wahl der maschinellen Anlage.

Oft hat man auch folgende Aufgabe zu lösen. Ein Körper, dessen Oberfläche $q \; cm^2$ beträgt, sei auf galvanischem Wege mit einem metallischen Überzuge zu versehen, der die Stärke $l \; cm$ haben soll. Wir fragen nach der Dauer des elektrolytischen Vorganges.

Jeder Elektrolyt erfordert eine gewisse Stromdichte i_1, das ist die auf die Flächeneinheit kommende Stromstärke, damit der galvanische Niederschlag in richtiger Weise erfolgt. Nachdem obiger Körper eine Oberfläche $q \; cm^2$ hat, brauchen wir eine Stromstärke:

$$i = q \, . \, i_1 \, .$$

Beträgt das specifische Gewicht des niederzuschlagenden Metalles s und l die Dicke des Niederschlages, dann beträgt das Gewicht des Niederschlages

$$G = q \, . \, l \, . \, s.$$

Aus Gleichung 1 folgt:

$$t = \frac{G}{i \, . \, g}.$$

Setzen wir in diese Gleichung die Werte für G und i ein, dann erhalten wir:

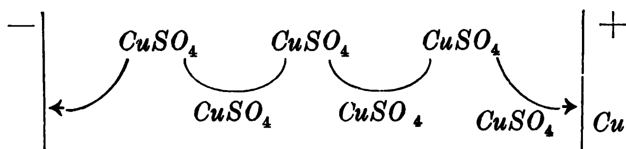
$$t = \frac{q \, . \, l \, . \, s}{q \, . \, i_1 \, . \, g} = \frac{l \, . \, s}{i_1 \, . \, g} \; . \; . \; . \; . \; 3.$$

3. Stromdichte. Die zu wählende Stromdichte ist Sache der Erfahrung. Auch bei einem und demselben Elektrolyten ist die zu wählende Stromdichte keine konstante Größe, sondern dieselbe hängt wesentlich von der Zusammensetzung und der Koncentration des Bades ab. Wird die Stromdichte zu klein oder zu groß gewählt, dann fällt der elektrolytische Niederschlag schlecht aus. Bei zu klein gewählter Stromdichte ist der Niederschlag nicht zusammenhängend und hat kein schönes metallisches Aussehen. Ist die Stromdichte zu groß, dann wird der Niederschlag pulverig. Die zu verwendende Stromstärke wird aus der Stromdichte und der Größe der Elektrode berechnet, auf welcher der Niederschlag zu erzeugen ist. Beträgt die Oberfläche der Elektrode $q\ cm^2$, ist i_1 die Stromdichte für 1 cm^2, dann ist die Stromstärke

$$i = i_1\, q.$$

Die Elektrode kann dabei zusammenhängend sein oder aus einzelnen nahegerückten Theilen bestehen. In der Praxis gibt man die Elektrodenoberfläche gewöhnlich in Quadratdecimetern an und demzufolge auch die Stromdichte in Ampère für 1 dm^2.

4. Elektrolyse des Kupfervitriols. Betrachten wir einmal die Elektrolyse des Kupfervitriols etwas näher und benützen wir zu diesem Zwecke das folgende Schema:



Die mit + und — bezeichneten geraden Linien bedeuten die in das Kupfersulfat getauchten Elektroden. Die positive Elektrode besteht aus Kupfer. Zwischen den beiden Elektroden denken wir uns eine Aneinanderreihung von Kupfersulfatmolekülen. Es findet nun folgende Wechselwirkung zwischen den Molekülen und den Elektroden statt.

Sämmtliche Moleküle spalten sich in zwei Theile, in das Kupferatom und die Atomgruppe SO_4. Die Kupferatome wandern in der Richtung gegen die negative Elektrode, die SO_4-Gruppen gegen die positive Elektrode. Dabei bilden sich neue Kupfersulfatmoleküle, wie es im Schema angedeutet ist. Aus den Molekülen, welche an der positiven Elektrode lagern, bilden sich durch ihre Vereinigung mit Kupferatomen der positiven Elektrode neue Kupfersulfatkrystalle. Die Kupferatome der Sulfatkrystalle, welche an die negative Elektrode grenzen, schlagen sich auf der negativen Elektrode nieder. Diese Wanderung der Atome und Atomgruppen bezeichnet man mit dem Ausdruck Ionen-

wanderung. Der Koncentrationsgehalt der Lösung bleibt, wie aus dem Schema ersichtlich, während der Elektrolyse derselbe; denn vor Einleitung des Processes zeigt das Schema 3 Kupfersulfatmoleküle und nach Beendigung desselben ebenfalls 3 Moleküle. An der negativen Elektrode werden also die Moleküle gespalten und die Kupferatome an der Kathode niedergeschlagen. Die Folge davon ist, dass in der Umgebung der Kathode die Lösung verdünnt wird. Das Umgekehrte tritt an der positiven Elektrode ein. Dort bilden sich fortwährend neue Kupfersulfatmoleküle, welche bewirken, dass in der Umgebung der positiven Elektrode der Koncentrationsgehalt der Lösung zunimmt. Diese Erscheinung kann in der Praxis unangenehme Folgen zeitigen. Es ist nämlich möglich, dass sich die Kupfersulfatmoleküle bei der positiven Elektrode derart reichlich bilden, dass hiedurch die Sulfatlösung an dieser Stelle gesättigt wird, es können die Moleküle nicht mehr gelöst werden und setzen sich in Form von Krystallen an der Anode an, wodurch dann der Widerstand der Anode steigt. In der Praxis sucht man das dadurch zu vermeiden, dass man das Bad in fortwährender Bewegung erhält.

5. Sekundäre chemische Wirkungen. Bei allen elektrolytischen Verfahren treten sekundäre chemische Wirkungen ein, welche oft den Vorgang schädlich beeinflussen. Zersetzt man z. B. eine wässerige Lösung von Chlornatrium, so wird zunächst das Chlornatrium in Chlor und Natrium zerlegt. In dem Augenblicke der Entstehung des Natriums wirkt dieses auf das Wasser, und es bildet sich Natriumhydroxyd und Wasserstoff. Auf einen solchen sekundären, chemischen Vorgang ist es auch zurückzuführen, dass es nicht gelingt, die Metalle aus ihren Verbindungen mit Säuren vollständig zu gewinnen. Die bei der Elektrolyse frei werdende Säure wirkt nämlich auf das ausgeschiedene Metall zurück, und es bildet sich wieder die Ausgangsverbindung.

Gewisse Metalle, und zwar diejenigen, welche schwer reducierbar sind, werden durch Elektrolyse ihrer geschmolzenen Salze gewonnen. Die Elektroden sind bei diesen Verfahren gewöhnlich aus Gaskohle, womit verhindert wird, dass das ausgeschiedene Metall mit dem Elektrodenmaterial eine Legierung bildet. Wenn man Natrium, Kalium oder Calcium aus geschmolzenen Salzen elektrolytisch darstellen will, dann ist man genöthigt, große Stromstärken anzuwenden. Die negative Elektrode ist ein Graphitstab, der nur wenig in die geschmolzene Verbindung eingetaucht wird. Meistens werden bei diesen Verfahren die Chloride verwendet, jedoch auch Oxyde, wie beim Blei und Zink, und Sulfide wie beim Antimon.

Bei der Elektrolyse wässeriger Lösungen von Metallsalzen scheidet sich das Metall an der Kathode ab und der Atomkomplex, der mit dem Metall verbunden ist, an der Anode. Unterwirft man Mineralsäuren einer Elektrolyse, dann wird der Wasserstoff an der negativen Elektrode sich abscheiden, der Säurerest an der Anode. Koncentrierte Salpetersäure zerfällt in Sauerstoff an der Anode und der Gruppe *NO* an der Kathode. Wird die Säure mit Wasser verdünnt, dann erhalten wir am negativen Pol Wasserstoff und zwar umso mehr, je verdünnter die Säure ist. Organische Säuren geben am negativen Pol Wasserstoff oder das Metall, wenn die Verbindung ein Salz war, am positiven Pol wird der Säurerest abgeschieden, der dort in einfachere Bestandtheile, wie Kohlensäure, Kohlenwasserstoffe u. s. w. zerfällt. Bei der Elektrolyse wässeriger Lösungen von Salzen aromatischer Basen entstehen Farbstoffe am positiven Pol. So erhält man bei der Elektrolyse des salzsauren Anilins, Anilinschwarz durch die eintretende Oxydation.

6. Elektrolytische Wärmeentwickelung. Wenn zwei chemische Elemente, oder auch zwei chemische Verbindungen, eine neue chemische Verbindung eingehen, wird Wärme frei. Je zusammengesetzter die Körper sind, welche die neue Verbindung bilden, desto weniger Wärme wird bei diesem chemischen Verfahren frei. Eine sehr bekannte technische Nutzanwendung dieser Wärmeentwickelung findet bei den Gaskraftmaschinen statt. Bei diesen wird z. B. Leuchtgas mit Luftüberschuss verbrannt. Die, bei diesem Verfahren sich entwickelnde Wärme wird zur Arbeitsleistung verwendet. Durch die Temperaturerhöhung des Gasgemisches, beziehungsweise des Verbrennungsgemisches wird der Druck desselben wesentlich erhöht, und ist dasselbe dadurch in den Stand gesetzt, den Kolben im Cylinder mit Gewalt vorwärts zu treiben. Eine andere technische Nutzanwendung dieser Erscheinung bietet uns die Sprengtechnik. Gemenge verschieden zusammengesetzter Körper werden entzündet und die sich rasch entwickelnden, hochgespannten Gase bringen zerstörende Wirkungen hervor. Denken wir uns die in der Technik so wichtige Verbrennung des Kohlenstoffes. Bei vollständiger Verbrennung, das heißt bei einer Verbrennung mit genügender Menge von Sauerstoff, bildet sich Kohlensäure. Bei diesem chemischen Verfahren (Oxydation) wird eine gewisse Wärmemenge frei. Verbrennen wir den Kohlenstoff bei ungenügendem Sauerstoffzutritt, dann entwickelt sich Kohlenoxydgas, eine Verbindung, die nur halb so sauerstoffreich ist als die Kohlensäure. Bei diesem chemischen Verfahren wird nun weniger Wärme frei als bei der Verbrennung

des Kohlenstoffes zu Kohlensäure. Nun können wir aber das Kohlenoxydgas weiter zu Kohlensäure verbrennen, bei welcher Verbrennung neuerdings eine gewisse Wärmemenge frei wird. Es zeigt sich nun, dass die Summe aus den frei werdenden Wärmemengen bei der Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlenoxyd und der weiteren Verbrennung des Kohlenoxydes zu Kohlensäure, gleich ist der bei der unmittelbaren Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlensäure entstehende Wärmemenge. Es lässt sich also der folgende Satz formulieren:

Wenn sich bestimmte Mengen zweier oder mehrerer Körper chemisch vereinigen, dann wird eine ganz bestimmte Wärmemenge frei, die nur von dem Zustande der Körper vor und nach der Vereinigung abhängig und von dem Zwischenwege, auf dem die Verbindung hergestellt wurde unabhängig ist.

Unter Wärmetönung versteht man diejenige Wärmemenge in Gramm- oder Kilogramm-Kalorien ausgedrückt, welche bei der Bildung einer Verbindung frei wird, wenn man in Grammen oder Kilogrammen ausgedrückte Mengen der Bestandtheile zur Bildung eines Moleküls der Verbindung nimmt. So z. B. bilden sich aus 2 *g* Wasserstoff und 15·96 *g* Sauerstoff 17·96 *g* Wasser. Bei dieser Vereinigung werden 68000 *g*-Kalorien frei. Die Zahl 68000 nennt man die Wärmetönung des Wassers.

Wollen wir nun eine chemische Verbindung wieder in ihre Bestandtheile zerlegen, dann müssen wir derselben soviel Arbeit in irgend einer Form zuführen, als bei der Bildung der Verbindung Arbeit in Form von Wärme frei wurde. Bei der Elektrolyse wird diese Arbeit als elektrische Arbeit dem Elektrolyten zugeführt. Daraus folgt ein für die Elektrolyse wichtiger Satz:

Wird ein Körper durch die Elektrolyse in seine Bestandtheile zerlegt, dann muss demselben eine elektrische Arbeitsmenge zugeführt werden, welche äquivalent ist der Wärmemenge, die bei der chemischen Vereinigung dieser Bestandtheile frei wurde.

Nehmen wir das Molekulargewicht irgend einer chemischen Verbindung als gegeben an. Die Wärmemenge W, die bei ihrer Bildung entsteht, sei uns bekannt. Wollen wir diese Verbindung mit Hilfe des galvanischen Stromes in ihre Bestandtheile zerlegen, dann müssen wir der Verbindung eine elektrische Arbeitsmenge zuführen, die der Wärmemenge W äquivalent ist. Es besteht also die Gleichung:

$$Q \,.\, E = 4{\cdot}164 \,.\, W,$$

in welcher Gleichung Q die zugeführte Elektricitätsmenge in Coulomb und E die Spannung in Volt bedeutet.

Das von uns früher erwähnte zweite Faraday'sche Gesetz lautete: Die durch den gleichen Strom in gleichen Zeiten, oder, die durch gleiche Elektricitätsmengen aus verschiedenen Elektolyten ausgeschiedenen, chemischen Bestandtheile sind äquivalent. Ein anderes von uns erwähntes Gesetz lautete: Das Atomgewicht eines chemischen Elementes ist gleich dem Produkte aus seiner Wertigkeit und seinem Äquivalenzgewichte.

Kohlrausch nennt den Quotienten aus Molekül oder Molekulargewicht und der Anzahl der Affinitäten (Valenzen) das elektrochemische Molekül. So dass man das folgende elektrolytische Gesetz schreiben kann:

Jedes elektrochemische Molekül bedarf zu seiner Zersetzung derselben Elektricitätsmenge.

Die in der vorhin aufgeschriebenen Gleichung eingesetzte Größe Q, bedeutete die Elektricitätsmenge, die man dem Molekulargewicht irgend einer chemischen Verbindung behufs ihrer Zersetzung zuführen muss. Wenn wir mit Q_1 jene Elektricitätsmenge bezeichnen, die man dem elektrochemischen Molekulargewicht zum Zwecke seiner Zersetzung zuführen muss, und mit n die Anzahl der Wertigkeiten des chemischen Moleküls, dann besteht die Gleichung:

$$Q = n \cdot Q_1.$$

Wir wollen nun den konstanten Wert Q_1 berechnen. Das elektrochemische Äquivalent des Wasserstoffes beträgt 0·000010411 g. Nachdem sein Äquivalentgewicht 1 ist, beträgt

$$Q_1 = \frac{1}{0{\cdot}000010411} = 96052 \text{ Coulomb und}$$

$$Q = n \cdot 96052 \text{ Coulomb.}$$

Die Gleichung $Q \cdot E = 4{\cdot}164\ W$ können wir demnach auch schreiben:

$$n \cdot 96052 \cdot E = 4{\cdot}164\ W \text{ oder}$$

$$E = \frac{4 \cdot 164}{96052} \cdot \frac{W}{n} = \frac{1}{23067} \frac{W}{n}.$$

Diese wichtige Formel kann folgendermaßen in Worten ausgedrückt werden:

Zur dauernden Zerlegung einer chemischen Verbindung ist eine bestimmte Spannung nothwendig, die sich durch Multiplikation eines konstanten Faktors mit dem Quotienten aus Wärmetönung und Anzahl der Affinitäten der chemischen Verbindung ergibt.

7. Polarisation. Eine bei allen elektrolytischen Verfahren auftretende Erscheinung ist die der Polarisation. Sind nach Beendigung eines solchen Verfahrens die Elektroden mit den Ionen ganz belegt, oder, wenn es sich um gasförmige Ionen handelt, von ihnen ganz erfüllt, und verbindet man die Elektroden durch einen Leiter, dann fließt im Leiter ein Strom, der die entgegengesetzte Richtung von dem Strome hat, der die Ionenabscheidung früher bewirkt hatte. Diesen Strom nennt man den Polarisationsstrom. Die Erklärung dieser Erscheinung ist sehr einfach. Die abgeschiedenen Ionen können sich wieder zur früheren Verbindung vereinigen. Dies kann unter Entwicklung von Wärme geschehen oder aber auch unter Entwicklung von elektrischer Energie, wie in unserem Falle. Die mit den Ionen belegten Platten bilden mit der Flüssigkeit, bei der Schließung durch den Draht, ein chemisches Element. Die frei werdende elektrische Arbeit ist völlig äquivalent der Arbeitsmenge, die aufgewendet werden musste, um die Abscheidung der Ionen zu bewirken.

8. Gesammtarbeit der Elektrolyse. Wir wollen nun nach der Gesammtarbeit fragen, die wir bei einem elektrolytischen Vorgange aufwenden müssen. Wenn wir einen Strom I durch eine elektrolytische Zelle schicken, dann hat dieser Strom zwei Arbeiten zu verrichten. Die erste Arbeitsmenge, A_1 entfällt auf die Zerlegung des Elektrolyten. Ist die elektromotorische Kraft, welche bei der elektrolytischen Zerlegung ins Spiel kommt, E, dann beträgt

$$A_1 = E \, . \, I \, . \, t \, ... \, 1),$$

wenn das Verfahren während der Zeit t erfolgt.

Die zweite Arbeitsmenge wird verbraucht zur Überwindung des Widerstandes der elektrolytischen Zelle. Der Widerstand dieser Zelle betrage W. Dann ist

$$A_2 = I^2 \, W \, . \, t \, ... \, 2.)$$

Es muss demnach bei der elektrolytischen Zersetzung eine Gesammtarbeit geleistet werden:

$$A = A_1 + A_2 = E \, . \, I \, . \, t + I^2 \, W \, . \, t \, ... \, 3.)$$

9. Spannung an den Klemmen des Bades. Wir wollen nun fragen, welche Spannung muss an den Klemmen des Bades herrschen, damit der Strom I dauernd durch das Bad fließt. Diese Klemmenspannung ist gleich der Summe aus der für die Zersetzung nothwendigen Spannung E und dem Spannungsverlust im Bade infolge des Ohm'schen Widerstandes des Bades. Es gilt also folgende Gleichung:

$$\triangle = E + IW \, ... \, 4.)$$

Der scheinbare Widerstand des Bades wäre also gleich:

$$Ws = \frac{\triangle}{I} = \frac{E}{I} + W \ldots . 5.)$$

Der scheinbare Widerstand ist im Gegensatze zum wahren Widerstande von der Stromstärke abhängig. Wir schrieben weiter oben die Gleichung:

$$G = g \,.\, I \,.\, t.$$

G bedeutet die auf elektrolytischem Wege während der Zeit t gewonnene Niederschlagsmenge. Die während dieser Zeit geleistete elektrische Arbeit beträgt:

$$A = (E + IW)\, It.$$

Folglich beträgt die auf die Gewichtseinheit entfallende Arbeitsmenge:

$$a = \frac{A}{G} = \frac{(E + IW)\, It}{g \,.\, I \,.\, t} = \frac{E + IW}{g} \ldots . 6.)$$

10. Wirtschaftlichkeit des Betriebes. Diese wird umso größer, mit je geringerer Stromdichte wir arbeiten. Mit abnehmender Betriebsstromdichte wachsen aber die Kosten für die Bäderanlage. Bei der Bestimmung der Stromdichte muss also auch berücksichtigt werden, dass die Summe aus den Kosten, welche für die Verzinsung, Erneuerung und Amortisation der Bäderanlage entfallen, und den Betriebskosten für die Gewichtseinheit des auf elektrolytischem Wege zu gewinnenden Materials ein Minimum wird.

11. Bäder mit löslicher Anode. Wir wollen uns nun mit den Bädern beschäftigen, die eine lösliche Anode besitzen. In diesem Falle besteht die Anode aus dem Metall, welches auf der Kathode niedergeschlagen wird. Das frei werdende Anion wirkt nun auf die Anode ein und löst von ihr soviel als an der Kathode Metall ausgeschieden wird. Der Koncentrationsgrad des Bades bleibt also unverändert. Bei der elektrolytischen Zersetzung wurde eine gewisse Arbeitsmenge verbraucht. Gleich viel Arbeit wird aber bei der chemischen Reaktion zwischen Anion und Anode frei, so dass die in der Zelle zu verrichtende Arbeit sich auf die Wärmearbeit $I^2 Wt$ beschränkt. Die Spannung, an der das Bad liegen muss, ist also gleich $E = IW$. Die elektrische Arbeit die aufgewendet werden muss, um die Gewichtseinheit Metall zu gewinnen ist in diesem Falle

$$\frac{A}{G} = \frac{I^2 \,.\, W \,.\, t}{g \,.\, I \,.\, t} = \frac{IW}{g} \ldots . 7.)$$

Lösliche Anoden werden in der Praxis besonders in der Galvanoplastik verwendet.

In der hüttenmännischen Praxis werden oft Anoden verwendet, die aus Verbindungen des niederzuschlagenden Metalles bestehen.

12. Arbeitsleistung und elektromotorische Kraft galvanischer Elemente. Die Wirkungsweise eines galvanischen Elementes besteht darin, dass der, bei den sich abspielenden chemischen Vorgängen zwischen den Bestandtheilen des Elementes sich ergebende Energieüberschuss in elektrische Energie sich umsetzt und als solche auch gewonnen wird. Nehmen wir an, es findet im Innern des Elementes eine Reihe chemischer Vorgänge statt P_1, P_2 ..... Die diesen Vorgängen entsprechenden Wärmetönungen seien W_1, W_2 .... die entsprechenden Affinitäten n_1, n_2 .... Die stattfindenden Vorgänge sind theils chemische Bindungen, theils chemische Zerlegungen.

Alle Vorgänge, bei denen Arbeit frei wird, versehen wir mit dem positiven Vorzeichen, alle jene, bei welchen Arbeit gebunden wird, mit dem negativen Vorzeichen. Wenn wir uns vorstellen, dass bloß elektrische Energien erzeugt werden, dann haben wir zunächst als die den Vorgang entsprechenden elektromotorischen Kräfte:

$$E_1 = \frac{1}{23067} \frac{W_1}{n_1} \text{ und}$$

$$E_2 = \frac{1}{23067} \frac{W_2}{n_2}.$$

Die gesammte elektromotorische Kraft des Elementes, die sich aus den einzelnen elektromotorischen Kräften E_1, E_2 .... ergibt, wobei nicht vergessen werden darf, dass die einzelnen elektromotorischen Kräfte mit dem richtigen Vorzeichen versehen werden,

$$E = (E_1 + E_2 + \ldots\ldots) = \frac{1}{23067} \left(\frac{W_1}{n_1} + \frac{W_2}{n_2} + \ldots\ldots\right).$$

Andererseits gilt, wenn wir die gewonnene Wärmemenge durch die äquivalente elektrische Energiemenge ausdrücken, folgende Gleichung:

$$Q \,.\, E = 4{\cdot}164\,(W_1 + W_2 + \ldots\ldots),$$

in welcher Gleichung $Q \,.\, E$ die gewonnene Volt-Ampère-Menge bedeutet. Bezeichnen wir den innern Widerstand des Elementes mit W_i und schließen wir das Element durch einen äußeren Widerstand W_a, dann fließt in diesem Kreise ein Strom:

$$i = \frac{E}{Wi + Wa.}$$

Ist $Wa = 0$, ist also das Element kurz geschlossen, dann beträgt der Strom:

$$i = \frac{E}{Wi}.$$

Unter dem Güteverhältnis oder Wirkungsgrad eines Elementes η bezeichnet man das Verhältnis der im äußeren Stromkreise geleisteten Arbeit zur gesammten vom Elemente erzeugten Arbeit. Es besteht also die Gleichung:

$$\eta = \frac{i^2 . Wa . t}{i . E . t} = \frac{i^2 . Wa . t}{i . i . (Wi + Wa) . t} = \frac{Wa}{Wi + Wa}.$$

Als **Beispiel** wollen wir die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes berchnen. Dieses Element besteht aus in Schwefelsäure getauchtem Zink und in Kupfervitriol getauchtem Kupfer. Es finden im Wesentlichen 2 chemische Vorgänge statt. Der erste ist der folgende:



$$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2.$$

Infolge Einwirkung der Schwefelsäure auf das Zink bildet sich Zinksulfat und Wasserstoff wird frei. Dieser frei werdende Wasserstoff wirkt auf das Kupfervitriol nach folgender Gleichung ein:



$$H_2 + Cu SO_4 = H_2SO_4 + Cu.$$

Es bildet sich also die früher verbrauchte Schwefelsäure wieder zurück. Diese beiden Theile der chemischen Vorgänge, die Bindung und Erzeugung der Schwefelsäure heben also einander in Bezug auf die gebildeten Energiemengen völligauf. Auf die Erzeugung der elektrischen Energie hat also bloß die Bildung des Zinksulfates und die Zerlegung des Kupfersulfates Einfluss. Bei dem ersten Vorgange wird Arbeit frei, und die diesem Vorgange entsprechende positive elektromotorische Kraft

$$E_1 = + 2{\cdot}30 \text{ Volt.}$$

Bei dem zweiten Vorgange wird Arbeit gebunden, und die negative elektromotorische Kraft, welche diesem Vorgange entspricht,

$$E_2 = - 1{\cdot}21 \text{ Volt.}$$

Folglich ist die elektromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes

$$E = E_1 + E_2 = 1{\cdot}09 \text{ Volt.}$$

13. Tabellen. An diesen theoretischen Theil wollen wir 2 Tabellen anschließen, die bei der Berechnung praktischer Beispiele nach den oben dargelegten Grundsätzen gute Dienste leisten werden. In der ersten Tabelle finden wir für verschiedene Elemente einige in der Elektrochemie wichtige Zahlen. In der zweiten Tabelle finden wir für verschiedene chemische Verbindungen Angaben über die Art ihres Zerfalles bei der Elektrolyse sowie Angaben über ihre Valenz, Wärmetönung und die zu ihrer Zersetzung nothwendige elektromotorische Kraft.

Tabelle 1.

Element	Zeichen	Valenz	Atom-gewicht	Äquivalent-gewicht	Elektrochem. Äquivalent pro Sek.-Amp. *mg*	Abscheidung pro Std.-Amp. *g*
Aluminium . . .	Al	3	27·04	9·01	0·0938	0·3377
Antimon	Sb	3	119·6	39·87	0·4151	1·494
Arsen	As	3	74·9	24·97	0·260	0·936
Blei	Pb	2	206·4	103·2	1·0744	3·868
Chlor	Cl	1	35·37	35·37	0·3682	1·326
Eisen	Fe	2	56·0	28·0	0·2908	1·047
Fluor	Fl	1	19·1	19·1	0·1989	0·7159
Gold	Au	3	196·7	65·57	0·6827	2·458
Jod	J	1	126·54	126·54	1·3174	4·743
Kalcium	Ca	2	39·91	19·95	0·2077	0·7477
Kalium	K	1	39·03	39·03	0·4064	1·463
Kobalt	Co	2	58·6	29·3	0·3050	1·098
Kohlenstoff . . .	C	4	11·97	2·99	0·03113	0·1118
Kupfer	Cu	2	63·18	31·59	0·3289	1·184
Magnesium . . .	Mg	2	24·30	12·15	0·1265	0·4554
Mangan	Mn	3	54·8	18·27	0·1902	0·6848
Natrium	Na	1	23·0	23·0	0·2394	0·8620
Nickel	Ni	3	58·6	19·53	0·2033	0·732
Phosphor	P	3	30·96	10·32	0·1074	0·3868
Platin	Pt	4	194·3	48·77	0·5078	1·1828
Quecksilber . . .	Hg	2	199·8	99·9	1·040	3·744
Sauerstoff	O	2	15·96	7·98	0·08308	0·299
Schwefel	S	2	31·98	15·99	0·1664	0·5993
Silber	Ag	1	107·66	107·66	1·1183	4·026
Silicium	Si	4	28·3	7·07	0·0736	0·2649
Stickstoff	N	3	14·01	4·67	0·0486	0·175
Wasserstoff . . .	H	1	1	1	0·010411	0·03748
Wismut	Bi	3	207·3	69·1	0·7194	2·590
Zink	Zn	2	65·1	32·55	0·3389	1·220
Zinn	Sn	2	118·8	59 4	0·6184	2·226

Tabelle 2.

Verbindung	Entstehung	Wärmetönung	Elektro-motorische Kraft
HCl	H, Cl	22000	0·95376
HBr	H, Br	8440	0·36589
HJ	H, J	— 6040	— 0·26185
H_2S	H_2, S	4740	0·10372
H_3N	H_3, N	11890	0·17182
SO_2	S, O_2, aq	78780	0·8538
H_2SO_4	SO_2, O, H_2O	53480	1·1592
HNO_3 aq	NO_2 H aq, O	18320	0·39711
H_3PO_4	H_3 PO_4, aq	2690 kryst.	—
CO	C, O	29000	0·6286
CO_2	C, O_2	96960	1·0508
Na_2Cl_2	Na_2, Cl_2	195380	4·235
K_2Cl_2	K_2, Cl_2	211220	4·5883
$MgCl_2$	Mg, Cl_2	151010	3·2733
$CaCl_2$	Ca, Cl_2	169820	3·681
$ZnCl_2$	Zn, Cl_2	97210	2·1072
$FeCl_2$	Fe, Cl_2	82050	1·7785
Fe_2Cl_6	Fe_2, Cl_6	192080	1·3878
$NiCl_2$	Ni, Cl_2	74530	1·6155
$CuCl_2$, 2 H_2O	Cu, Cl_2, 2 H_2O	58500	1·268
Pb Cl_2	Pb, Cl_2	82770	1·7942
Hg Cl_2	Hg, Cl_2	63160	1·369
Au Cl_3	Au, Cl_3	22820	0·32976
Sn Cl_2	Sn, Cl_2	80790	1·7512
K_2 Cy_2	K_2, Cy_2	130700	2·833
Zn Cy_2	Zn, Cy_2	53400	1·1575
K_2O aq	K_2, O, aq	164560	3·567
Na_2O aq	Na_2, O, aq	155260	3·3654
Ba O aq	Ba, O, aq	158760	3·4413
Ca O aq	Ca, O, aq	149260	3·2353
Ca O	Ca, O	130930	2·8387
Pb O	Pb, O	50300	1·0903
Pb O_2	PbO, O	12140	0·26315
Cu O	Cu, O	37160	0·8055
Hg O	Hg, O	30670	0·6648
Zn S, H_2O	Zn, S, H_2O	41580	—
Fe S, H_2O	Fe, S, H_2O	23780	—
Ni S, H_2O	Ni, S, H_2O	19400	—
Pb S	Pb, S	20430	0·44284
Cu_2 S	Cu_2, S	20270	0·43937

Verbindung	Entstehung	Wärmetönung	Elektromotorische Kraft
CuS	Cu, S	—	—
HgS	Hg, S	16890	0·36611
Ag_2S	Ag_2, S	5340	0·11575
$2AgNO_3$	Ag_2, O_2, N_2O_4	61490	—
$Pb(NO_3)_2$	Pb, O_2, N_2O_4	109470	—
$Cu(NO_3)_2, 6H_2O$	$Cu, O_2, N_2O_4, 6H_2O$	96950	—
$COSO_4$ aq	Co, O, SO_3 aq	88070	—
$NiSO_4$ aq	Ni, O, SO_3 aq	86950	—
$PbSO_4$ aq	Pb, O, SO_3 aq	73800	—
$CuSO_4$ aq	Cu, O, SO_3 aq	55960	—
Ag_2SO_4 aq	Ag_2, O, SO_3 aq	20390	—
$Al_2(SO_4)_3$ aq	$Al\,{}^2/_3, O, SO_3$ aq	150630	—
$Fe_2(SO_4)_3$ aq	$Fe\,{}^2/_3, O, SO_3$ aq	74990	—
$2KNO_3$ aq	K_2, O, N_2O_5 aq	192100	—
$Ca(NO_3)_2$ aq	Ca, O, N_2O_5 aq	177160	—
$Zn(NO_3)_2$ aq	Zn, O, N_2O_5 aq	102510	—
$Ni(NO_3)_2$ aq	Ni, O, N_2O_5 aq	83420	—
$Pb(NO_3)_2$ aq	Pb, O, N_2O_5 aq	68070	—
$Cu(NO_3)_2$ aq	Cu, O, N_2O_5 aq	52410	—
$Hg_2(NO_3)_2$ aq	Hg_2, O, N_2O_5 aq	47990	—
$2AgNO_3$ aq	Ag_2, O, N_2O_5 aq	16780	—
$PbCO_3$	Pb, O, CO_2	72880	—
$MgSO_4, K_2SO_4$	$MgSO_4, K_2SO_4$	3300	—
$ZnSO_4, K_2SO_4$	$ZnSO_4, K_2SO_4$	4140	—
$CuSO_4, K_2SO_4$	$CuSO_4, K_2SO_4$	20	—
$MnSO_4, K_2SO_4$	$MnSO_4, K_2SO_4$	990	—
$MgSO_4, K_2SO_4, 6H_2O$	$MgSO_4, K_2SO_4, 6H_2O$	23920	—
$ZnSO_4, K_2SO_4, 6H_2O$	$ZnSO_4\ K_2SO_4, 6H_2O$	23950	—
$CuSO_4, K_2SO_4, 6H_2O$	$CuSO_4, K_2SO_4, 6H_2O$	22990	—
$MnSO_4, K_2SO_4, 4H_2O$	$MnSO_4, K_2SO_4, 4H_2O$	13810	—
$HgCl_2, 2KCl, H_2O$	$HgCl_2, 2KCl, H_2O$	6130	—
$HgBr_2, 2KBr$	$HgBr_2, 2KBr$	1230	—
$HgJ_2, 2KBr$	$HgJ_2, 2KBr$	3040	—
$SnCl_4, 2KCl$	$SnCl_4, 2KCl$	24160	—
$SnCl_2, 2KCl, H_2O$	$SnCl_2, 2KCl, H_2O$	4890	—

II. Kapitel.

Primär-Elemente.

14. Begriff und Eintheilung.

Man versteht unter Primärelementen solche Vorrichtungen, welche dazu dienen, ruhende, potentielle Energie in dynamische, elektrische umzuwandeln. Die potentielle Energie kann sowohl chemische, als auch Wärme-Energie sein. Während diese Stromerzeuger früher die einzigen Stromquellen waren, sind sie heute im Großbetrieb völlig von den Dynamomaschinen verdrängt, deren stromerzeugende Wirkung auf dem Grundsatze der elektrischen Induktion beruht. (I. Th. 1. B. S. 61.)

Man theilt die Primärelemente in folgende Gruppen:

I. Eigentliche galvanische Elemente.

II. Elemente, welche Elektricität unmittelbar aus Kohle erzeugen.

III. Gasbatterien.

IV. Thermoelemente.

I. Eigentliche galvanische Elemente.

15. Grundlegende Erscheinungen.

Diese Elemente beruhen auf folgenden chemischen und physikalischen Erscheinungen. Wird eine Metallplatte in eine Flüssigkeit getaucht, dann tritt an der Platte eine elektromotorische Kraft auf, welche unabhängig ist von der Größe der Platte; diese hat nur einen Einfluss auf den inneren Widerstand des Elementes, hängt dagegen von der Beschaffenheit des Metalles und der Flüssigkeit ab. Denken wir uns als verwendete Flüssigkeit verdünnte Schwefelsäure, dann kann man eine Reihe verschiedener Materialien aufstellen, von denen jedes in der Reihe vorangehende eine größere elektromotorische Kraft entwickelt als das folgende. Diese Reihe lautet: Zink, Eisen, Zinn, Blei, Aluminium, Nickel, Wismut, Kupfer, Silber, Platin, Kohle. Man kann natürlich für jede andere verwendete Flüssigkeit eine ebensolche Reihe aufstellen. Werden zwei gleiche Platten in die Flüssigkeit getaucht, dann heben sich die beiden an ihnen erzeugten elektromotorischen Kräfte auf. Taucht man jedoch zwei Platten aus verschiedenem Material in die Flüssigkeit, z. B. eine Zink- und eine Kupferplatte, dann erhalten die beiden Platten verschiedenes Potential. Verbindet man nun die beiden Platten mit einem Draht, dann entsteht ein geschlossener Kreis von elektrischen Leitern, in welchem beständig ein galvanischer Strom fließt, nachdem ja auch beständig die Potentialdifferenz der beiden Platten erneuert wird. Die

Stromrichtung können wir aus der vorhin aufgestellten Spannungsreihe leicht ersehen. Werden beliebige zwei Materialien dieser Reihe in die Flüssigkeit getaucht, dann fließt der Strom innerhalb der Flüssigkeit von dem in der Reihe voranstehenden Material zu dem in der Reihe folgenden. In unserem Falle also vom Zink zum Kupfer. Der erweckte Strom zersetzt nun die Flüssigkeit im Elemente. Die Schwefelsäure zerfällt in die Theile H_2 und SO_4. Die Gruppe H_2, der Wasserstoff wandert in der Stromrichtung und scheidet sich am Kupfer ab, die Gruppe SO_4 gelangt zum Zink und verbindet sich mit demselben zu Zinksulfat, welches sich in der Flüssigkeit löst. Die Bildung des Zinksulfates kostet Arbeit, und diese aufgewendete chemische Arbeit ist der der erzeugten elektrischen Energie äquivalent. Damit diese Bildung von Zinksulfat nicht auch dann eintritt, wenn kein Strom durch das Element fließt, wird das Zink amalgamiert, d. h. es wird die Platte durch Eintauchen in verdünnte Schwefelsäure gereinigt und hierauf an der Oberfläche mit Quecksilber eingerieben. Statt einer Flüssigkeit können auch zwei Flüssigkeiten verwendet werden, so dass dann jedes Material in einer besonderen Flüssigkeit steht. Die Erregerflüssigkeit des Elementes ist entweder eine Salzlösung oder eine verdünnte Säure. Entsprechend der Temperatur und dem Koncentrationsgrade der Lösung ist dieselbe schon theilweise in Ionen zerfallen. Die Anionen besitzen eine negative elektrische Ladung, die Kathionen eine positive Ladung. Die negativ elektrisch geladenen Anionen werden nun infolge chemischer Anziehungskräfte vom Zink oder dem dieses vertretende Metall angezogen und geben ihre negative Ladung an das Zink ab. Diese Ionen sind Sauerstoff, Chlor und die Säurereste. Die Anionen verbinden sich gleichzeitig mit einem Theile der Zinkplatte. Die positiv geladenen Ionen, Wasserstoff und Metallionen gelangen an die Kupferplatte, oder die dieselbe vertretende Platte, welche dadurch positiv geladen wird. Diese Wanderung der Ionen dauert solange, bis die Platten genügend mit Elektricität geladen sind, um alle ankommenden Ionen abzustoßen. In diesem Augenblicke befindet sich das Element im elektrostatischen Gleichgewichte, denn es darf nicht vergessen werden, dass das Element offen ist, also noch kein geschlossener Stromkreis durch Verbindung der Elektroden mittels eines äußeren Leiters hergestellt ist. In dem Augenblicke, in dem das Element durch einen Leiter geschlossen wird, findet ein Ausgleich, der auf den Platten angesammelten Elektricitätsmengen durch den Leiter statt und die Ionenwanderung beginnt von Neuem. Dadurch werden die Elektroden wieder elektrisch geladen und der Strom bleibt dauernd erhalten. Der Strom behält solange seine Stärke, als die Beschaffenheit der Platte und der Flüssigkeit dieselbe und der Wider-

stand des Schließungsdrahtes unverändert bleibt. Ganz ähnlich hat man sich auch den Vorgang in Elementen mit zwei Erregerflüssigkeiten vorzustellen.

16. Elemente mit einer Erregerflüssigkeit.

Das Volta-Element. Dieses Element wurde im Jahre 1800 von Volta hergestellt. Er tauchte einfach Zink- und Silberplatten in verdünnte Schwefelsäure. Später ersetzte er das Silber durch Kupfer. Schließt man dieses Element durch einen Leiter, dann fließt in demselben ein Strom vom Kupfer zum Zink. Dieser Strom verringert aber immer mehr seine Stärke und hört endlich ganz auf. Die Ursache dieser Erscheinung ist die sogenannte Polarisation. Die Polarisation hat verschiedene Ursachen. Der an der Kupferplatte ausgeschiedene Wasserstoff setzt sich an der Oberfläche der Platte theilweise fest und erfüllt sogar die Poren der Platte. Statt des Kupfers haben wir dann in der Flüssigkeit eigentlich eine Wasserstoffplatte. Während das Kupfer in der Spannungsreihe hinter dem Zink steht, steht der Wasserstoff in dieser Reihe vor dem Zink. Es entsteht also durch die Gegenüberstellung von Zink und Wasserstoff in der Erregerflüssigkeit eine gegenelektromotorische Kraft, die der Polarisation. Die in dem Elemente wirksame elektromotorische Kraft wird also kleiner. Der Wasserstoff, der sich an der Kupferplatte festsetzt, vergrößert aber auch den Widerstand der Platte und damit auch den inneren Widerstand des Elementes, wodurch ebenfalls eine Schwächung des vom Elemente gelieferten Stromes eintritt. Schließlich wird der innere Widerstand des Elementes auch dadurch vergrößert, dass die Leitfähigkeit der Flüssigkeit durch das gelöste, während der Stromerzeugung gebildete Zinksulfat herabgesetzt wird. Auch die Oberfläche der Zinkplatte verändert sich dadurch, dass fremde Beimengungen derselben unter Umständen unlösliche Verbindungen bilden, die sich an der Plattenoberfläche ansetzen und so den Widerstand der Platte vergrößern. Endlich kann sich auch gelöstes Zink an der Kupferplatte ablagern, so dass dann in der Flüssigkeit zwei gleiche Platten einander gegenüberstehen, welche natürlich keine Potentialdifferenz erzeugen. Um zu vermeiden, dass der Wasserstoff sich an der Elektrode abscheidet, bringt man in die Flüssigkeit Mittel, welche sich mit dem Wasserstoff chemisch verbinden. Diese Mittel, welche man Depolarisatoren nennt, können in gasförmiger, flüssiger und fester Form verwendet werden.

Wollaston stelllte eine Batterie her, bei welcher die Kupferelektroden doppelt so groß waren als die Zinkelektroden. Dadurch wird offenbar die Zeit verlängert, in welcher die ganze Elektrodenoberfläche sich mit Wasserstoffbläschen belegt. Manche konstruierten das

Element so, dass die Kupferplatte um eine Achse beweglich gemacht wurde, so dass immer ein Theil der Platte mit der Luft in Berührung kam und an sie seinen Wasserstoff abgab.

Beim Smee-Element besteht die positive Platte statt aus Kupfer aus Platin, das die Form eines Wellbleches hat. Das Blech wird mit Platinschwarz überzogen. Die Platte hat so einerseits eine große Oberfläche, andererseits ist sie imstande, viel Wasserstoff aufzunehmen. Zu beiden Seiten des Platinbleches befinden sich Zinkplatten. Die Figur 1 zeigt die Anordnung der Platten beim Smee-Element.

Ein Element, bei welchem als Depolarisator Chlorgas verwendet wird, ist das Upward-Element. Dieses Element ist durch die Figur 2 veranschaulicht. Das Gefäß besteht aus Steingut und ist durch

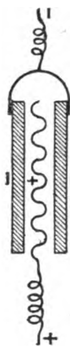


Fig. 1. Smee-Element.

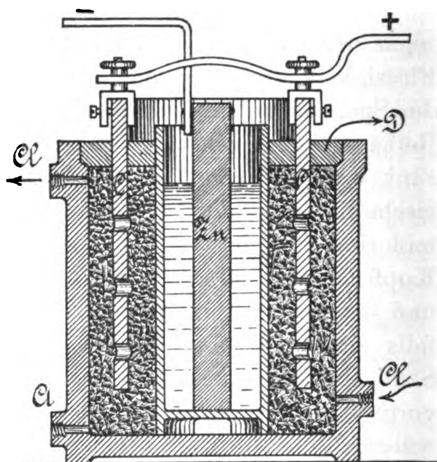


Fig. 2. Upward-Element.

den Deckel *D* luftdicht abgeschlossen. In dem Gefäße befindet sich ein durchlöcherter Kohlencylinder *C*. In seinem Innern befindet sich eine poröse Thonzelle, in welcher die Zinkplatte *Zn* steht. Zwischen Thonzelle und Gefäßwand ist Retortenkohlenklein eingestampft. In der Thonzelle befindet sich Wasser oder Zinkchloridlösung. Auch verdünnte Salzsäure oder Chlorwasser kann verwendet werden. In den Raum, der mit Kohlenklein gefüllt ist, wird durch einen Ansatz von unten Chlorgas eingeleitet. Der Gasüberschuss entweicht durch einen im Gefäße oben angebrachten Ansatz. Die Öffnung *A* dient zum Ablassen der gebildeten Zinkchloridlösung. Der Kohlencylinder bildet die positive Elektrode, das Zink die negative Elektrode. Der Kohlencylinder und das Kohlenklein sind ganz von Chlorgas erfüllt. Dieses Element zeigt keinerlei Polarisation, nachdem der Wasserstoff, der zur Kohlenelektrode

gelangt, vom Chlorgas sofort chemisch gebunden wird. Das Element besitzt eine elektromotorische Kraft von 2·1 Volt. Das Zink braucht nicht amalgamiert zu sein. Zur Erzeugung des nöthigen Chlorgases hat Upward eigene Vorrichtungen konstruiert.

Bei den ähnlich aufgebauten Elementen von Papst und Faure wird das Chlor in den Elementen entwickelt Bei dem Elemente von Faure bestehen die Elektroden aus Eisen- und Kohlenplatten. Der Elektrolyt ist eine Kochsalzlösung mit einem Zusatze von Eisencarbonat. Zur Kohlenelektrode wird Luft eingeblasen. Die elektromotorische Kraft eines Elementes beträgt 1·15 Volt.

Sehr häufig sind jene Elemente, bei welchen die Chromsäure als Depolarisator wirkt. Ein solches Element ist in Figur 3 dargestellt. Der Elektrolyt besteht aus einer Lösung von Kalium- oder Natriumbichromat mit einem Zusatze von Schwefelsäure. Als Elektroden dienen Zink- und Kohlenplatten, und zwar befindet sich in jedem Elemente zwischen zwei Kohlenplatten eine Zinkplatte. Die Zinkplatte wird amalgamiert, ein Diaphragma kommt nicht in Verwendung. Da die Zinkplatte auch dann, wenn das Element nicht im Gebrauche ist, von dem Elektrolyten angegriffen wird, andererseits auch die Kohlenplatten durch sich ansetzende Krystalle verunreinigt werden, ist gewöhnlich eine Einrichtung vorhanden, mit deren Hilfe man die Platten aus der Flüssigkeit heben kann. Der chemische Vorgang in einem solchen Elemente ist etwa der folgende. Nehmen wir an, wir hätten in der Lösung Kaliumbichromat, welches die chemische Formel $K_2\,Cr_2\,O_7$ besitzt. Es findet zunächst zwischen dem Kaliumbichromat und der Schwefelsäure eine chemische Reaktion nach folgender Formel statt:

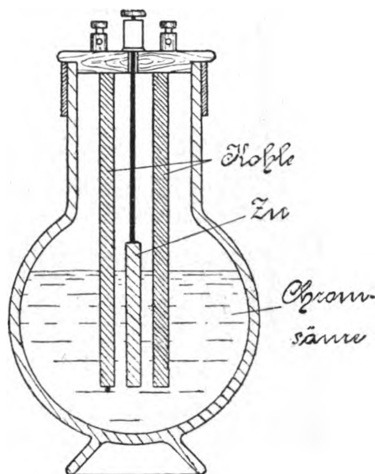
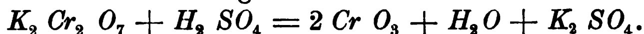
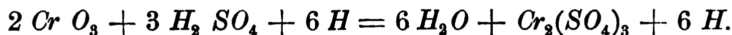


Fig. 3. Chromsäure-Element.



$$K_2\,Cr_2\,O_7 + H_2\,SO_4 = 2\,Cr\,O_3 + H_2O + K_2\,SO_4.$$

Es bildet sich also Chromsäure, Wasser und Kaliumsulfat. Das Kaliumsulfat löst sich und hat für die chemischen Vorgänge im Elemente keine wesentliche Bedeutung. Nun findet eine Wechselwirkung zwischen der gebildeten Chromsäure, und der Schwefelsäure nach folgender Formel statt:



$$2\,Cr\,O_3 + 3\,H_2\,SO_4 + 6\,H = 6\,H_2O + Cr_2(SO_4)_3 + 6\,H.$$

Dieser chemische Vorgang wird durch die elektrolytische Wirkung des Stromes hervorgerufen. Dieser gebildete Wasserstoff sucht sich nun an der Kohlenplatte festzusetzen. Nun gibt aber die Chromsäure Sauerstoff ab, so dass sich Wasser bildet, und die Polarisation ist vermieden. In der Lösung bildet sich auch Kalichromalaun, $K_2\ Cr_2\ (SO_4)_4$, welcher unlöslich ist und sich sowohl an der Gefäßwand als auch an den Kohlenplatten festsetzt. Zur Herstellung der elektrolytischen Flüssigkeit verwendet man auf je 100 *g* Kaliumbichromat 272 *g* oder 151 cm^3 Schwefelsäure. Bei Verwendung von fester Chromsäure benöthigt man auf je 100 *g* Chromsäure 190 cm^3 Schwefelsäure. Gewöhn-

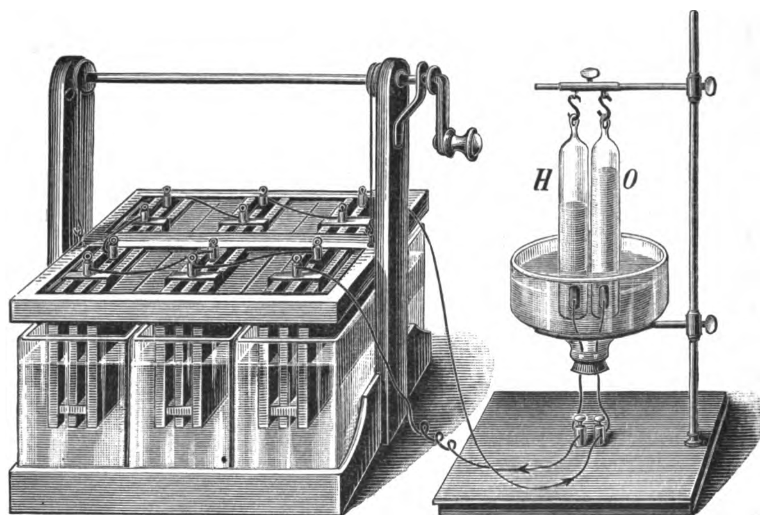


Fig. 4. Tauchbatterie sammt Wasserzersetzungsapparat.

lich wird das Natriumbichromat dem Kaliumbichromat vorgezogen, weil ersteres weniger Schwefelsäure braucht, und sowohl dasselbe als auch der im Elemente sich bildende Natrium-Chrom-Alaun leichter löslich ist. Ein frisch gefülltes Chromsäureelement hat die elektromotorische Kraft von 2·08 Volt, doch fällt diese elektromotorische Kraft im Gebrauche nach einiger Zeit auf etwa 1 Volt.

Sehr häufig findet man in Laboratorien diese Elemente in Form von Tauchbatterien vor. Die Platten der Elemente sind bei diesen an einer Holzleiste befestigt, und können mit dieser durch eine Kurbelvorrichtung emporgezogen und so außer Kontakt mit der Flüssigkeit gebracht werden. Eine solche Batterie ist auch in Figur 4 veranschaulicht. Diese Figur bringt die Tauchbatterie in Verbindung mit einem Wasserzersetzugsapparate. Schickt man nämlich den Strom einer

galvanischen Batterie zu zwei in Wasser befindlichen Platinelektroden, so steigen an diesen Glasblasen auf und zwar am positiven Pole Sauerstoff O, Figur 4, am negativen H. Das Wasser wird demnach durch den Strom in seine Bestandtheile zerlegt. Die Elemente der Tauchbatterie sind hintereinander geschaltet.

17. Elemente mit festen oder breiförmigen Depolarisatoren.

Ein Element dieser Gruppe ist das in der Figur 5 dargestellte von Warren de la Rue. Der Elektrolyt besteht bei diesem Elemente aus einer Salmiaklösung, die man erhält, wenn man einen Gewichtstheil Salmiak in 4 Theilen Wasser löst. Die Elektroden sind ein Zinkstab und ein Silberdraht, der in einem Cylinder aus geschmolzenem Silberchlorid eingebettet ist. Der Silberchlorid-Cylinder ist mit mehreren Lagen von Fließpapier oder Pergament umwickelt, um eine etwaige direkte Berührung zwischen Zink und Silberchlorid zu vermeiden. Das Silberchlorid wirkt als Depolarisator. In ähnlicher Weise wie das Silberchlorid werden auch das Quecksilberchlorür, das Quecksilberchlorid, das Bleichlorür und das Kupferoxyd verwendet.

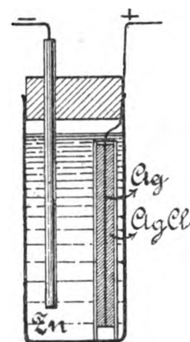


Fig. 5.
Warren de la Rue-Element.

Von allen Elementen, bei welchen des Kupferoxyd als Depolarisator verwendet wird, ist das bekannteste das Cupronelement. Die Figur 6 zeigt ein solches Element. Die positive Elektrode besteht aus einer porösen Kupferoxydplatte. Das Kupferoxyd wird im Element zu metallischem Kupfer reduciert, verwandelt sich aber von selbst durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft wieder in Kupferoxyd. Die negative Elektrode besteht aus 2 Zinkplatten. Der Elektrolyt ist 15 bis 18%ige Natronlauge. Auf die Flüssigkeit schüttet man eine Schichte reinen Peraffinöls, um die Kohlensäure der Luft abzuhalten. Die elektromotorische Kraft des Elementes beträgt anfangs 1·0—1·1 V. Im Gebrauche sinkt dieselbe jedoch auf 0·8 Volt.

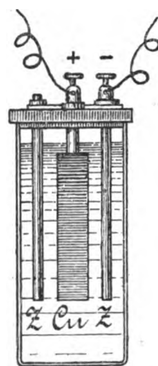


Fig. 6.
Cupronelement.

Ein sehr häufig anzutreffendes Element ist das Braunstein- oder Leclanché-Element. Es ist in der Figur 7 zur Darstellung gebracht. Besonders häufig wird es bei Haustelegraphen und kleinen Telephonanlagen verwendet. In einem prismatischen Glasgefäß befindet sich ein Thoncylinder, der eine Kohlenplatte enthält, welche in ein Gemisch

aus Braunstein- und Kohlenstücken eingebettet ist. Die Kohlenplatte dient als positive Elektrode. Als negative Elektrode wird ein Zinkstab angewendet. Das Gefäß wird zur Hälfte mit Salmiaklösung gefüllt. Der Braunstein, Mangansuperoxyd, ist eine sauerstoffreiche Verbindung, welche als Depolarisator wirkt. Die dünne Zinkstange und das Diaphragma bewirken, dass der innere Widerstand des Elementes groß ist, so dass das Element nur schwache Ströme gibt.

18. Elemente mit zwei Flüssigkeiten.

Das Wesentliche an diesen Elementen ist, dass die positive Elektrode mit einer Flüssigkeit umgeben ist, welche mit dem Wasserstoff leicht eine chemische Verbindung einzugehen imstande ist. Die kräftige depolarisierende Wirkung beruht darauf, dass ein flüssiger Depolarisator in innige Berührung mit dem Wasserstoffgas tritt.

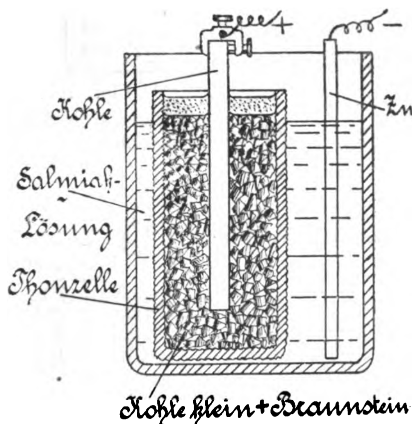


Fig. 7. Leclanché-Element.

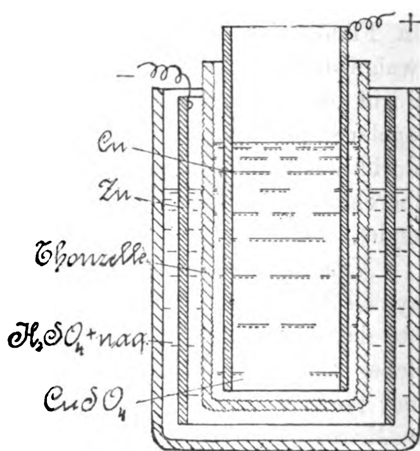


Fig. 8. Daniell-Element.

Das erste Element dieser Art war das von Daniell. Es ist in Figur 8 dargestellt. In einer porösen Thonzelle, in der sich Kupfervitriollösung befindet, steht ein Kupfercylinder. Der Thoncylinder steht in 10%iger Schwefelsäure, in welche ein Zinkcylinder getaucht ist. Bei neueren Elementen wird die Kupferelektrode außen angeordnet, und die Zinkelektrode, welche einen kreuzförmigen Querschnitt erhält, innen. Die Schwefelsäure des Elementes wird durch den galvanischen Strom in Wasserstoff, H_2, und die Atomgruppe SO_4 zerlegt. Der Wasserstoff gelangt zur positiven Elektrode, dem Kupfer. An dieser Elektrode findet sich Kupfersulfat vor. Der Wasserstoff H_2 tritt nun in chemische Wechselwirkung mit dem Kupfersalz $Cu\ SO_4$. Es bildet sich Schwefel-

säure, und Kupfer, das sich an die Kupferplatte ansetzt. Der polarisierende Einfluss des Wasserstoffs ist dadurch behoben. Statt der verdünnten Schwefelsäure kann man auch 5%ige Zinkvitriollösung nehmen. Das Zink spielt bei dieser Zusammenstellung die gleiche Rolle, wie früher der Wasserstoff. Die Atomgruppe SO_4 der Schwefelsäure verbindet sich mit dem Zink zu $Zn\ SO_4$, welches sich in der Flüssigkeit auflöst. In diesem Elemente wird demnach einerseits Zink verbraucht und Zinkvitriol gebildet und anderseits Kupfervitriol verbraucht und metalisches Kupfer niedergeschlagen. Das Daniell'sche Element zeichnet sich durch seine konstante elektromotorische Kraft aus. Bei Verwendung reiner Metalle und verdünnter Schwefelsäure beträgt seine elektromotorische Kraft 1·08 Volt, bei Verwendung von Zinkvitriollösung 1·07 Volt. In den Thoncylinder bringt man Krystalle von Kupfersulfat, damit die Kupfersulfatlösung durch den chemischen Process nicht verdünnt werde. Das Zink wird amalgamiert.

Ein solches Element bleibt solange konstant als Kupfervitriollösung vorhanden und der Zinkcylinder, der sich nach und nach auflöst, nicht ganz zerstört ist. Um diesen Zeitpunkt möglichst hinauszuschieben, wählt man einen starken Zinkcylinder und wirft von Zeit zu Zeit Kupfervitriolkrystalle in das Diaphragma. Es wird also die verdünnte Schwefelsäure nach und nach in eine Zinkvitriollösung verwandelt, so zwar, dass ein solches Element erst nach einigen Tagen seine volle Leistung erreicht. Das Element muss deshalb vor seiner Verwendung kurzgeschlossen werden. Da das Wasser im Glase durch Zersetzung ab-, hingegen im Diaphragma zunimmt, so muss man schon bei der Füllung des Elementes darauf bedacht sein, dass die Flüssigkeit in der Thonzelle nicht zu hoch steht, weil dieselbe sonst überfließen und den Strom bedeutend schwächen würde. Einen wesentlichen Fehler dieses Elementes bildet die Thonzelle; ist letztere zu stark gebraucht und zu wenig porös, so hat sie einen zu großen Widerstand; ist sie dagegen zu wenig gebraucht und zu porös, so sickert die Kupfervitriollösung hindurch und vermengt sich mit dem Wasser. Letzterer Umstand entspricht nicht dem Zwecke, die beiden Flüssigkeiten zu trennen und getrennt zu erhalten. Das Diaphragma soll deshalb nicht zu schwach, nicht zu wenig porös und gebraucht sein. Im ersteren Falle würde die Thonzelle erweichen und zerbrechen. Ein gutes Diaphagma gibt beim Anklopfen einen hellen Klang und wird an der Oberfläche feucht, ohne in Tropfen zu schwitzen. Ein weiterer Nachtheil dieses Elementes besteht darin, dass das freigewordene Kupfer sich nicht allein an dem Kupfercylinder, sondern zuweilen auch an den inneren Seitenwänden des Diaphragmas niederschlägt, in die Poren desselben eindringt und

dieses zersprengt. Dadurch vermengen sich die Flüssigkeiten und das Element wird wirkungslos. Dieses Element ist nicht transportabel.

In Figur 9 ist das Element von Varley wiedergegeben. Bei diesem Elemente befindet sich zwischen den beiden Flüssigkeiten keine poröse Scheidewand. Am Boden des Gefäßes ruht die Kupferelektrode, über ihr mittels dreier Arme, auf den Rand des Gefäßes sich stützend, die Zinkelektrode. Das Gefäß wird zunächst mit Zinksulfatlösung gefüllt. Hierauf wird mittels eines Glasrohres die Kupfervitriollösung auf den Boden des Gefäßes gebracht. Die letztere Lösung ist specifisch schwerer als die Zinkvitriollösung und lagert sich am Boden, ohne sich mit der

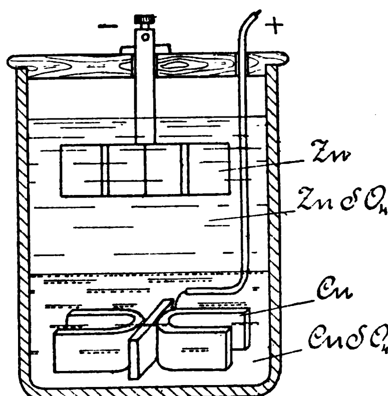


Fig. 9. Varley-Element.

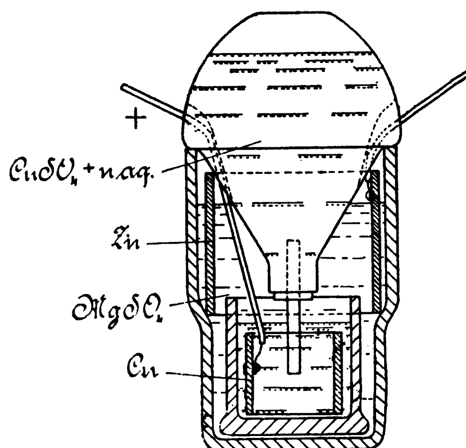


Fig. 10. Meidinger-Element.

Zinksalzlösung zu vermischen. Mit der Zeit tritt jedoch trotzdem eine Vermischung ein, und um diese zu verlangsamen, hat Varley auch zwischen den beiden Elektroden Sägespäne gebracht.

Ähnlich wie dieses Element ist das Callaud-Element aufgebaut. Dieses erhält oft eine Zinkelektrode in Form einer Spirale und wird bei demselben das Mischen der Flüssigkeiten dadurch zu verhindern gesucht, dass man aus der Vermischungszone zeitweilig die Flüssigkeit ablässt. Alle Elemente dieser Art müssen natürlich ruhig aufgestellt werden.

Ein Element, das für den Telegraphenbetrieb eine großer Bedeutung hat, ist das Meidinger-Element. Dieses Element zeigt die Figur 10. Ein cylindrisches Glasgefäß besitzt unten eine Verengung. Auf dem Absatze sitzt ein Zinkcylinder. Auf dem Boden dieses Gefäßes befindet sich ein kleines Glasgefäß, in welchem ein Kupfercylinder steht. In das große Gefäß schüttet man eine Zinkvitriol- oder eine Magnesium-

sulfatlösung. Ein ballonförmig gebautes Glasgefäß, in welches Kupferkrystalle kommen, wird mit der Öffnung nach unten in das große Glasgefäß gesenkt. Die in dem Glasgefäß befindliche Flüssigkeit dringt zu den Krystallen und bildet eine Kupfersulfatlösung. Diese Lösung sinkt zu Boden und füllt das kleine Glasgefäß, in welchem sich die Kupferelektrode befindet. Der Glasballon fasst ungefähr 1 *kg* Krystalle. Die elektromotorische Kraft des Elementes beträgt 0·9 bis 1 Volt.

Das Element wird folgendermaßen in Thätigkeit gesetzt: Man gießt in die mit Kupfervitriol gefüllte Sturzflasche solange Wasser, bis dieselbe überfließt; ebenso gießt man in das große Glas Wasser, oder besser Bittersalzlöung, jedoch bloß soweit, damit nach Einhängung des Ballons dasselbe den Zinkcylinder nicht überragt. Stürzt man nun den Ballon in das Glas, so kommt das Element sofort in Thätigkeit.

Sobald die Krystalle im Ballon anfangen, sich zu lösen, sickert die Flüssigkeit durch das Glasröhrchen in das kleine Glas und verdrängt das Wasser oder die Bittersalzlösung, weil sie spezifisch schwerer ist, als letztere. Das Wasser wird so weit verdrängt, bis es die Öffnung des Röhrchens berührt. Die beiden Flüssigkeiten stehen, ohne sich zu vermengen und ohne Diaphragma über einander. Dieses Element zeichnet sich vor dem Daniell'schen Element dadurch aus, dass es kein Diaphragma besitzt und 3 bis 4mal solange konstant bleibt.

Die Behandlung des Elementes besteht in Folgendem: Befindet sich die Batterie einmal in Thätigkeit, so muss sie ruhig stehen bleiben und darf nicht gerückt werden. Bewegt man das Element, so vermengen sich die Flüssigkeiten und der Strom wird geschwächt. Man muss gleichzeitig darauf achten, dass sich das Glasröhrchen nicht verstopft. Die Verstopfung des Glasröhrchens kann mit der Zeit deshalb eintreten, weil sich das Kupfer aus der Kupfervitriollösung in dem Röhrchen niederschlägt. Das Erschöpftsein der Batterie erkennt man an dem Ballon. Befinden sich keine Kupfervitriolkrystalle mehr in der Sturzflasche, so erscheint die Flüssigkeit hellfärbig und man muss das Element frisch füllen.

Ein Element, bei welchem koncentrierte Salpetersäure als Depolarisator wirkt, ist das Grove-Element. Dieses Element wird durch die Figur 11 veranschaulicht. In der Thonzelle, die mit koncentrierter Salpetersäure gefüllt ist, befindet sich die *S*-förmig gekrümmte Platinblechelektrode. Der als zweite Elektrode dienende amalgamierte Zinkcylinder steht in verdünnter Schwefelsäure. Die elektromotorische Kraft des Elementes beträgt 1·6 bis 1·9 Volt. Da der innere Widerstand des Elementes klein ist — er beträgt bei einem Element von 20 *cm* Höhe und 9 *cm* Durchmesser etwa 0·15 Ω — kann das Element

große Stromstärken liefern. Die depolarisierende Wirkung der Salpetersäure beruht darauf, dass die Salpetersäure ihren Sauerstoff an den ankommenden Wasserstoff abgibt und sich dieser mit dem Sauerstoff zu Wasser verbindet. In der Thonzelle bildet sich ein giftiges Gas, die Untersalpetersäure, welche Metallgegenstände heftig angreift. Die Thonzelle ist darum mit einem Porzellandeckel verschlossen. Überdies wird die Batterie im Freien oder in einem gelüfteten Raume aufgestellt. Die Salpetersäure muss koncentriert sein, weil andernfalls die elektromotorische Kraft des Elementes wegen eintretender Polarisation sinkt.

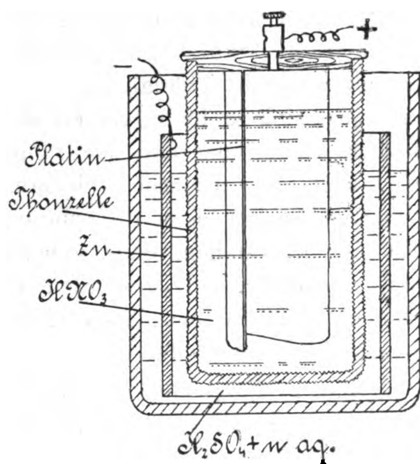


Fig. 11. Grove-Element.

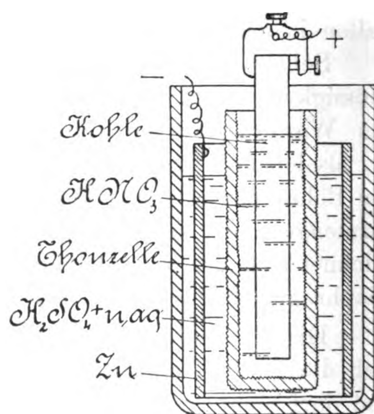


Fig. 12. Bunsen-Element.

Ein anderes Starkstromelement ist das Bunsenelement, welches die Figur 12 darstellt. Es zeigt principiell den gleichen Bau wie das Grove-Element, nur ist das Platinblech durch einen Kohlencylinder ersetzt. Bei der Ausführungsform der Siemens & Halske A.-G. befindet sich in dem Thoncylinder das Zink mit der Schwefelsäure, außerhalb der Zelle der Kohlencylinder und die Salpetersäure. Der Kohlencylinder besitzt schief nach unten gerichtete Löcher um einerseits eine gute Cirkulation der Flüssigkeit zu ermöglichen, andererseits den Gasen einen freien Abzug nach oben zu erleichtern. Behufs Verbindung des Ableitungsdrahtes mit dem Kohlencylinder wird zunächst um den Kohlencylinder ein Bleistreifen gelegt, der von der Säure nicht angegriffen wird, und auf diese Weise immer mit der Kohle in gut leitender Verbindung steht. Um diesen Bleistreifen ist ein Kupferring gelegt, mit dem der Ableitungsdraht verbunden ist.

Das Callaud-Element (1858), Fig. 13, wird bei vielen Bahnen als Glockenbatterie angewendet. Ein Glasgefäß erscheint mit einem Zinkdeckel geschlossen. An dem letztrren ist ein Zinkkreuz befestigt. Im Deckel befindet sich ein behufs Isolierung mit Guttapercha ausgelegtes Loch. Ein Kupferdraht oben mit Guttapercha isoliert, unten an einen Kupfercylinder angenietet, wird in das Glasgefäß gestellt, worauf man Kupfervitriolkrystalle bis zu einem Drittel des Gefäßes einfüllt und dann das letztere mit Wasser oder mit einer Bittersalzlösung $MgSO_4$ vollfüllt. (In der Fig. 13 ist anstatt MgSO richtig $MgSO_4$ zu lesen). Im oberen Theile bildet sich nach und nach Zinkvitriollösung. Diese Batterie ist sehr konstant aber nicht transportabel. Eine andere Konstruktion des Deckels besteht darin, dass derselbe eine verschließbare Öffnung besitzt, durch welche Kupfervitriolkrystalle nachgeworfen werden können. Das Loch ist seitwärts angebracht und nicht isoliert.

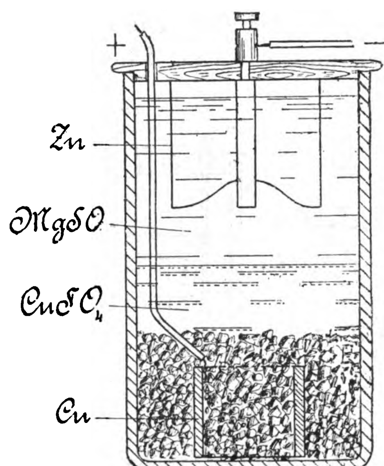


Fig. 13. Callaud-Element.

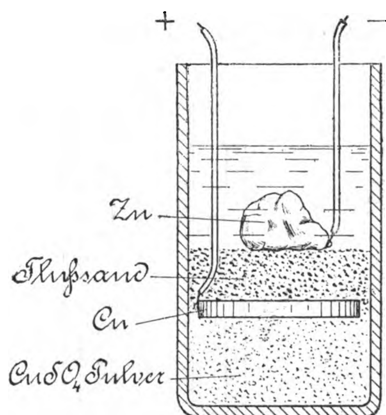


Fig. 14. Minotto-Element.

Das Minotto-Element, Fig. 14, besteht aus einem Glasgefäße, in welchem sich eine Kupferscheibe befindet, an welcher ein durch Guttapercha isolierter Kupferdraht angelöthet ist. Auf diese Platte kommen gepulverte Kupfervitriolkrystalle, dann eine Schichte kalkfreien Sandes (Flusssand) und endlich darauf ein Zinkstück mit einem angenieteten Kupferdrahte. Gießt man nur soviel Wasser darauf, dass das Zinkstück mit demselben ganz bedeckt ist, so beginnt alsbald die Wirkung. Diese Batterie verbraucht wenig Zink weil die Kupfervitriollösung vermöge ihrer Schwere unten bleibt und so mit dem Zink nicht in Berührung kommt. Will man diese Batterie zu Lokalbatterien oder elektrischen

Weckern benützen, so gibt man die Kupferplatte zwischen Kupfervitriol und Sand. Dieses geschieht, damit der innere Widerstand geringer wird. Bei längerem Gebrauche sammelt sich metallisches Kupfer im Sande an und die Batterie versagt; dieselbe ist nicht transportabel.

Das Marié Davy-Element, Fig. 15, besteht aus einem Kohlengefäß (Gaskohle) auf dessen Boden sich eine Schichte Isoliermaterial (Guttapercha, Glas, Hartgummi u. s. w.) befindet. Auf diese Isolierung wird ein massiver Zinkcylinder gestellt, der durch Querhölzer von dem Kohlengefäße getrennt ist, und festgehalten wird. Die Füllung besteht aus mit Wasser zu einem Brei angemachten, pulverisierten, schwefelsauren Quecksilberoxydul Hg_2SO_4.

Chemischer Process: Der Sauerstoff des Wassers verbindet sich mit dem Zink zu Zinkoxyd, dieses verbindet sich mit der freigewordenen Schwefelsäure zu Zinkvitriol. Der Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff des Quecksilberoxyduls zu Wasser. Das Quecksilber scheidet sich metallisch aus und sammelt sich am Boden des Kohlenbechers. Diese Batterie ist transportabel und wird am häufigsten in Frankreich zum Feldtelegraphen benützt.

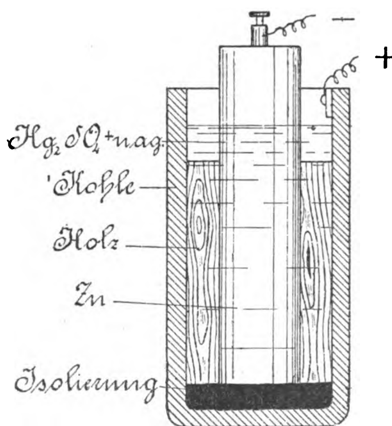


Fig. 15. Davy-Element.

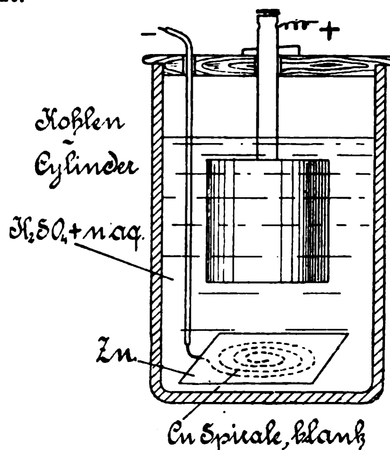


Fig. 16. Sartori-Element.

Das Sartori-Element, Fig. 16, besteht zunächst aus einem Glase, welches mit einem Porzellandeckel bedeckt ist. In dem Glase läuft ein isolierter Kupferdraht an seinem unteren Ende in eine blanke Spirale aus, auf welcher eine Zinkplatte liegt. Etwa 3 *cm* oberhalb dieser Zinkplatte hängt an einem isolierten Kupferdrahte, der durch den Porzellandeckel führt und mittels einer Klemme festgehalten wird, ein massiver Kohlencylinder.

Füllung: Verdünnte Schwefelsäure.

Chemischer Process: Der Sauerstoff des Wassers der verdünnten Schwefelsäure verbindet sich mit dem Zink zu Zinkvitriol. Der freigewordene Wasserstoff wird von dem Kohlencylinder solange absorbiert, bis derselbe gesättigt ist; dann bilden sich Bläschen an seiner Oberfläche, die Polarisation beginnt, und das Element wird unbrauchbar. Diese Batterie leistet dort gute Dienste, wo wenig Strom gebraucht wird, z. B. bei Zimmerleitungen u. s. w.

19. Trockenelemente. Diese Elemente, welche nur schwache Ströme geben, führen ihren Namen nicht mit vollem Rechte, denn ihr Unterschied von den anderen, mit Flüssigkeiten versehenen Elementen besteht lediglich darin, dass bei ihnen die Flüssigkeit von porösen, hygroskopischen Körpern aufgesogen wird. In dem Augenblicke, in welchem die Elemente ihre Feuchtigkeit verlieren, hört auch ihre Wirkung auf. Der Hauptvortheil dieser Elemente liegt in dem Umstande, dass ein Verschütten von Flüssigkeit nicht möglich ist, die Elemente also leicht zu transportieren sind.

Eine sehr bekannte Trockenbatterie ist die Zamboni'sche Säule. Diese Säule besteht aus kreisförmigen Scheiben von Kupfer- und Zinnpapier, welche so aufeinander gelegt werden, dass sich immer zwei Metallflächen decken. Zwischen je 2 Paaren von sich deckenden Metallflächen befindet sich also eine doppelte Papierschicht. Als Erregerflüssigkeit dient die Feuchtigkeit der Luft, welche vom Papier aufgesogen wird. Diese Elemente, welche einen inneren Widerstand von vielen Millionen Ohm besitzen, werden nach längerer Zeit wegen der eintretenden Polarisation unwirksam.

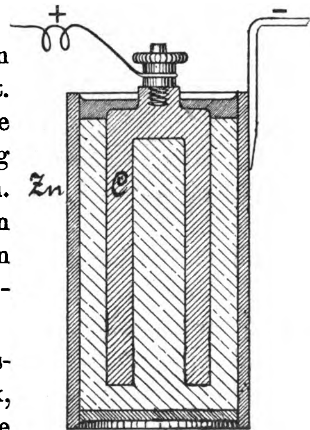


Fig. 17.
Gassner-Trockenelement.

Die meisten Trockenelemente zeigen den gleichen Aufbau wie das Leclanchéelement. Die Elektroden sind Zink und Kohle, die elektrolytische Flüssigkeit ist eine Salmiaklösung und als Depolarisator dient der Braunstein. Die elektrolytische Flüssigkeit lässt man von fein gepulverten, chemisch indifferenten Körpern aufsaugen, so dass eine teigige Masse, die sogenannte Erregerpaste entsteht.

Figur 17 zeigt das Element von Gassner. Die Paste besteht aus 1 Theil Salmiak, 3 Theilen Gips, 1 Theilen Zinkoxyd und 2 Theile Wasser. Das Zinkoxyd macht die Masse locker. Als Elektroden dienen das Zinkgefäß und ein hohler Kohlencylinder. Das Gefäß wird durch eine Schichte Pech

luftdicht verschlossen. Die elektromotorische Kraft des Elementes beträgt 1·44 Volt, sein innerer Widerstand 0·32 Ohm.

Das bekannte Hellesenelement ist durch die Figur 18 veranschaulicht. In einem Gefäße aus Papierstoff befinden sich als Elektroden ein Kohlenstab *C* und 2 Zinkcylinder *Zn*, von welchem der innere durchlöchert ist. Zwischen den Zinkcylindern befindet sich die Paste *B*, welche der Hauptsache nach aus Salmiaklösung, Gips und Tragantgummi besteht. Die Kohlenelektrode ist in der von einem Beutel umschlossenen Depolarisationsmasse gebettet, welche aus Salmiaklösung, Graphit und Braunstein besteht. Das Rohr *R* dient zum Abzuge eventuell sich entwickelnder Gase. Das Element ist sehr konstant und liefert verhältnismäßig starke Ströme. Die elektromotorische Kraft beträgt 1·5 Volt, der innere Widerstand 0·5—0·1 Ω, welcher Widerstand von der Größe des Elementes abhängt. Bei Kurzschluss liefert das Element einen Strom von 12 *A*, welcher nach 4 Minuten auf 8 *A* sinkt.

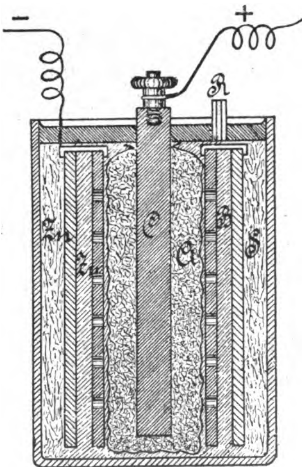


Fig. 18. Hellesen-Trockenelement.

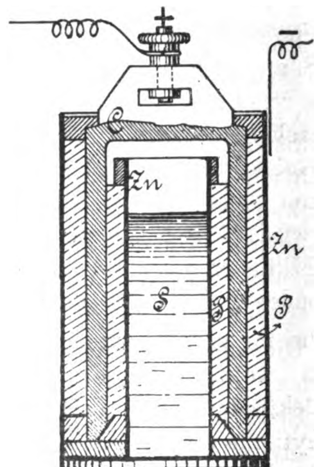


Fig 19. Schmidt-Trockenelement.

Das Trockenelement von Schmidt ist in der Figur 19 dargestellt. Auch dieses Element hat einen kleinen inneren Widerstand und liefert große Stromstärken. Es besitzt eine Flüssigkeit. Als Elektroden dienen 2 Zinkcylinder *Zn* und einen Kohlencylinder *C*, der am Boden in Paraffin gebettet ist, damit keine Berührung zwischen ihm und den Zinkcylindern stattfinde. Die Paste *P* bringt man trocken ins Element. Der Hohlraum des inneren Zinkcylinders wird mit Salmiaklösung gefüllt.

Weitere Trockenelemente: Obach (Siemens & Halske A.-G.), Schwabe, Siedle, Volta, C. Erfurt, Sorivanoff, Gaiffe, Marcus u. A.

Soll das Element betriebsfähig gemacht werden, dann ist der Paste durch Umlegen oder Schütteln des Elementes Salmiak zuzuführen.

20. Normalelemente. Zu dieser Gruppe gehören alle jene Elemente, welche sich dadurch auszeichnen, dass sie eine sehr konstante, elektromotorische Kraft besitzen, welche sich bei Temperaturschwankungen nur wenig ändert. Diese Elemente besitzen einen großen inneren Widerstand, nachdem sie keinen bedeutenden Strom zu liefern haben, ja bei ihrer Hauptverwendung, als Vergleichsspannung bei den Kompensationsmethoden, liefern sie überhaupt keinen Strom. Ihre Herstellung ist eine äußerst sorgfältige. Früher verwendete man als Normalelement ein Daniell'sches Element bestimmter Anordnung das eine elektromotorische Kraft von 1·07 Volt besitzt.

Daniel (Post-office standard cell).

In einem Glase befindet sich eine gesättigte Lösung von Zinkvitriol und eine amalgamierte Zinkplatte. Ein besonders poröses Gefäß mit gesättigtem Kupfervitriol und einer Kupferelektrode steht, wenn das Element nicht benutzt wird, in einer zweiten, mit Wasser gefüllten Abtheilung des Gefäßes. Wird das Element in Gebrauch genommen, so setzt man das Gefäß mit dem Kupfervitriol und der Kupferelektrode in die Zinkvitriollösungs-Abtheilung. $E = 1{\cdot}07$ Volt.

Latimer Clark. Die wichtigsten Formen dieses gebräuchlichsten Normalelementes stammen von Rayleigh, Lindeck, der Normal-Aich-Kommission des Board of Trade, Kahle, Lodge und K. Feussner. Wir beschreiben hier nur die Form K. Feussner's, Figur 20, welche von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg allein amtlich beglaubigt wurde.[1]) Die positive Elektrode besteht aus einem amalgamierten Platinblech. Zur letzteren führt ein durch ein Glasrohr geschützter Platindraht. Das Platinblech befindet sich in einer Thonzelle, die mit einer Quecksilberoxydul-Pasta ausgefüllt ist. Die negative Elektrode bildet ein unten umgebogener Zinkstab, dessen vertikalen Theil ein mit Paraffin ausgegossenes Glasrohr vor der Berührung mit der Zinksulfat-Lösung schützt. Den horizontalen Theil des Zinkstabes umgeben

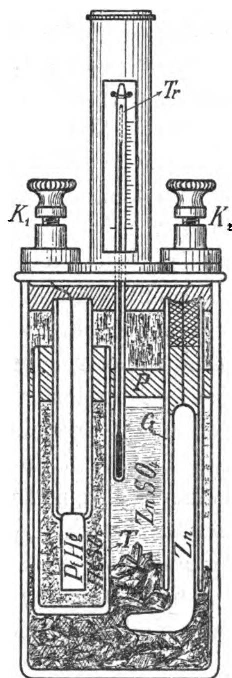


Fig. 20.
Feussner-Normalelement.

[1]) Gegenwärtig stellt die Reichsanstalt fast nur Weston'sche Cadmiumelemente neu her. E. Z. 1901, S. 487.

Zinkvitriol-Krystalle. Die Elektroden sammt den Zinkvitriol-Krystallen befinden sich in einem Gefäß, dessen mittlerer Theil mit koncentrierter Zinksulfat-Lösung ausgefüllt ist. Das Element erscheint leicht transportabel, da selbst das Umstürzen desselben eine Berührung der einzelnen, entgegengesetzten elektrischen Theile ausschließt.

Beim Steigen der Temperatur treten Änderungen in der Koncentration der Zinkvitriol-Lösung ein, die sich sehr langsam durch die Thonzelle zur positiven Elektrode fortpflanzen. Erst wenn die Koncentration der Zinkvitriol-Lösung überall dieselbe ist, zeigt das Element den betreffenden, der Temperatur entsprechenden Wert an. Nach Kahle findet man die, den jeweiligen Temperaturen t zugehörigen elektromotorischen Kräfte nach der Formel: $E = 1{\cdot}434 - 0{\cdot}0012.\ (t - 15^0\ C.)$ Volt und $E = 1{\cdot}428$ für 20° C. Zur genauen Ermittelung der Temperatur der Clark-Elemente werden dieselben häufig in Wasser oder in eine andere Flüssigkeit gestellt. Weitere Normalelemente: Cahart, Weston[1]), Helmholz, Warren de la Rue, Kittler, Fleming, Gony und S. & H.

Das letztere Element dient zur Prüfung des Torsionsgalvanometers. Nach den Vorschriften der Physikalisch-technischen Reichsanstalt dürfen die Normalelemente höchstens mit 0·01 Milliampère beansprucht werden, d. h. es müssen bei 1·428 Volt, also 20° C, 142800 Ohm vorgeschaltet werden. Man kann die Normalelemente ohne weiteres an Elektrometer oder Kondensatoren anschließen, oder in solchen Schaltungen verwenden, bei welchen die Stromstärke den Wert 0·01 Milliampère nicht erreicht. Wohl besitzen wir genaue Normalien für Widerstände und sind in der Lage mit den Stromzeigern exakte Strommessungen durchzuführen, vollkommen zuverlässige Normalien für die Spannung bestehen jedoch nicht. Am sichersten ergibt die Spannung das Ohm'sche Gesetz aus einer Widerstands- und aus einer Strommessung.

Die besten Quellen für konstante, insbesondere aber für starke Ströme sind die Akkumulatoren.

II. Elemente zur unmittelbaren Erzeugung von Elektricität aus Kohle.

21. Einleitung und Eintheilung. Die Bemühungen zur Lösung dieses Problems datieren bis auf jene Zeit zurück, da man begann, Primärelemente zu bauen. Alle Methoden gehen darauf hinaus, Kohlenstoff zu Kohlenoxyd oder Kohlensäure derart zu verbrennen, dass sich Ionen bilden. Diese Ionen geben dann ihre elektrischen Ladungen her

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1901, S. 487.

und liefern so einen galvanischen Strom. Man verwendet reinen Kohlenstoff oder natürliche Kohle. Diese Kohle, auch der Graphit und Diamant, bestehen aus hochmolekularen, kohlenstoffreichen Wasserstoff- und Stickstoffverbindungen. Im Wesentlichen gibt es drei Methoden, um Elektricität unmittelbar aus Kohle zu gewinnen.

1. Verbrennung der Brennstoffe bei hohen Temperaturen.
2. Oxydation derselben in wässerigen Lösungen.
3. Oxydation gasförmiger Brennstoffe.

22. Verbrennung der Brennstoffe bei hohen Temperaturen. Wir wollen nun einige Anordnungen der ersten Methode kennen lernen.

Figur 21 zeigt einen Versuch von A. C. Becquerel. In einem Platintiegel *Pt* wird Salpeter geschmolzen. In die Masse taucht ein Kohlenstab. Die Kohle verbrennt zu Kohlensäure. Zwischen Kohle und Platin besteht eine Spannungsdifferenz von 0·5 Volt, wobei das Platin positiv, die Kohle negativ elektrisch wird.

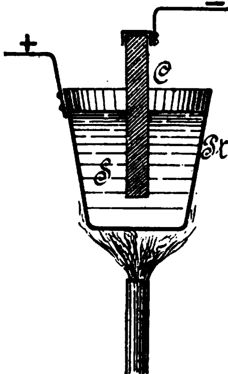


Fig. 21. Becquerel-Kohleelement.

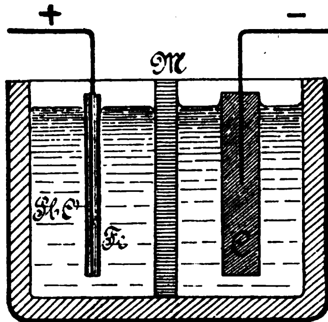
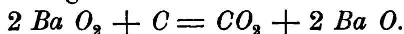


Fig. 22. Kohleelement.

Das Element von Jablochkoff ist ähnlich gebaut, nur besteht das Gefäß aus Eisen. Als Kohlenelektrode dienen in einem Eisendrahtkorbe eingehängte Koksstücke. Die entwickelte elektromotorische Kraft beträgt 2 bis 3 Volt.

Interessant ist das Element von Korda. Letzterer verband ein Kohleplättchen und ein Stück Bariumbioxyd jedes mit einem Platindraht, welche Drähte an Kupferleitungen angeschlossen wurden. In den Kreis wurde ein Spannungszeiger geschaltet. Die beiden Plättchen wurden nun zusammengepresst und mittels eines Bunsenbrenners bis zur Rothglut erhitzt. In diesem Augenblicke zeigte der Spannungszeiger eine Spannungsdifferenz von 1 Volt an. Zwischen dem Bariumbioxyd und der Kohle findet folgende chemische Reaktion statt:



$$2\,Ba\,O_2 + C = CO_2 + 2\,Ba\,O.$$

Es bildet sich also Kohlensäure und Bariumoxyd. Bei allen bis jetzt besprochenen Elementen wird nur ein geringer Theil der, der Kohle innewohnenden Energie in elektrische Energie umgesetzt, der größte Theil der Kohle verbrennt nutzlos unter Entwicklung von Wärme. Um das zu verhindern, hat Ostwald vorgeschlagen, die Kohle nicht direkt mit den Oxydationsmitteln in Berührung zu bringen.

Eine derartige Anordnung zeigt die Figur 22. Die verwendeten Elektroden-Materialen sind Kohle und Eisen. Die Kohle taucht in eine Schmelze aus Pottasche und Soda bestehend, das Eisen in eine Schmelze von Bleioxyd. Die Wand *M*, aus Magnesia bestehend, ist durchlässig und dient zur Trennung der beiden heißflüssigen Elektrolyte von einander. Das Gefäß, das innen mit einem feuerfesten Stoff ausgekleidet ist, bringt man in einen Heizraum. Die Eisenplatte wird positiv die Kohlenplatte negativ elektrisch.

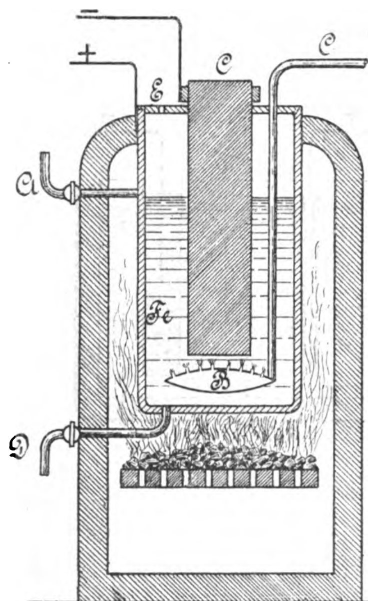


Fig. 23. Jacques-Kohleelement.

Sehr bemerkenswert ist das Element von W. Jacques. Als der Erfinder dieses Elementes im Jahre 1896 mit demselben vor der Öffentlichkeit behauptete, das Element gestattet, 82% der Kohlenenergie in elektrische Energie umzuwandeln, da glaubte man, das Problem der unmittelbaren Gewinnung von Elektricität aus Kohle sei gelöst. Bald stellte es sich jedoch heraus, dass der Wirkungsgrad des Elementes schlechter ist, als jener der besseren Dampfmaschinen und dass die Stromlieferung bald so sehr nachlässt, dass das Element unbrauchbar wird. Dies Element ist durch die Figur 23 dargestellt. Ein geschlossener Eisencylinder *Fe* ist in eine Heizvorrichtung eingesetzt. Der Cylinder ist $^3/_4$ mit Ätznatron, *Na OM*, gefüllt. Zur Füllung des Gefäßes dient das Rohr *A*, zum Ablassen der Flüssigkeit das Rohr *D*. In die Flüssigkeit taucht ein Kohlencylinder *C*, unterhalb dessen mittelst der Brause *B* und des Rohres *C* Pressluft in den Cylinder geführt wird. Bei *E* entweichen die Kohlengase. Die Wirkungsweise des Elementes ist nach den Untersuchungen von Liebenow und Strasser die folgende. Ist das verwendete Element ein neu zusammengestelltes und

wird der Elektrolyt verflüssigt, dann ist das Eisen gegenüber der Kohle negativ elektrisch. Während dieses Vorganges ist die Schmelze grünlich gefärbt. Das Eisen wird gleichzeitig oxydiert, und zwar solange bis der Elektrolyt eine Temperatur von 500° C. angenommen hat. Ist diese Temperatur erreicht, dann wird das Eisen gegenüber der Kohle positiv elektrisch und die Schmelze wird rothbraun. Das Element kann jetzt einen Strom abgeben, allein nur solange, als sich auf dem Eisen eine Oxydschichte befindet. Nachdem diese Oxydschichte sehr dünn ist, wird sie bald aufgezehrt, und darum kann auch das Element nur während kurzer Zeit Strom liefern. Soll das Element dauernd Strom abgeben, dann muss man trachten, die Oxydschichte auf dem Eisen dauernd zu erhalten. Dies geschieht dadurch, dass fortwährend Luft mittelst der Brause *B* dem Elemente zugeführt wird. Das Element ist demnach als ein galvanisches Element aufzufassen.

Bemerkenswert sind die Versuche Brooks auf diesem Gebiete. Letzterer verwirft die Anwendung von Salpeter, weil durch den Salpeter, die chemischen Vorgänge sehr heftig vor sich gehen. Die Folge davon ist, dass ein großer Theil der Energie durch Nebenprocesse verloren geht. Ferner verwirft Brooks die Anwendung von Metallelektroden, weil durch die Oxydation des Metalles der innere Widerstand des Elementes steigt. Derselbe verwendet darum bei seinen Elementen zwei Kohlenelektroden. Ein solches Element hat die folgende Anordnung. In einen porösen Thontiegel, der auf ein Kohlenfeuer gesetzt wird, kommt geschmolzenes schwefelsaures Kali. In diese Masse taucht man einen Kohlenstab. In die glühenden Kohlen wird ein zweiter Kohlenstab gesteckt. Zwischen den beiden Kohlenstäben besteht dann eine Spannungsdifferenz, die bei einem Versuche 1·87 Volt bei einem innern Widerstande von 14 Ohm betrug, und bei einem zweiten Versuche 1·57 Volt bei einem innern Widerstande von 3 Ohm. Die elektromotorische Kraft erreicht ihr Maximum, wenn die Temperatur des Elektrolyten wenig höher ist, als die Schmelztemperatur desselben, d. i. 200° C. Die elektromotorische Kraft hängt wesentlich von der Temperaturdifferenz der beiden Kohlen ab. Die Zusammenstellung ist aller Wahrscheinlichkeit nach als galvanisches Element aufzufassen. Der Tiegel spielt dieselbe Rolle wie die Thonzelle bei den gewöhnlichen galvanischen Elementen. Das geschmolzene Kalisalz stellt die Verbindung zwischen den beiden Kohlenelektroden her.

23. Oxydation des Brennstoffes in wässerigen Lösungen. Wir wollen nun zur zweiten Gruppe von Elementen dieser Art übergehen, nämlich zu jenen, bei welcher der Brennstoff in wässerigen Lösungen oxydiert wird. Die Elemente dieser Gruppe beruhen auf der

Thatsache, dass sich Kohle in starken Säuren oder durch Elektrolyse bei Verwendung als Anode lösen lässt. Unterwirft man reines Wasser oder Wasser, das mit Salzsäure, Salpetersäure oder Schwefelsäure versetzt ist, einer Elektrolyse mit Kohlenelektroden, dann bilden sich zahlreiche Verbindungen, welche sich als Bodensatz an der Anode abscheiden, oder sich im Elektrolyten unter Trübung desselben lösen. Die Chemiker nennen den entstehenden Körper Mellogen. Er hat das Aussehen der Kohle, ist im Wasser und in Alkalien löslich. Durch Säuren wird er aus der Lösung gefällt.

Auf Grund dieser Thatsache haben Bartoli und Papasogli ein Element folgender Art gebaut. Als Anode verwenden sie Retortenkohle, als Kathode Gold oder Platin. Der Elektrolyt besteht aus einer Lösung einer der nachstehenden Verbindungen: Ätzkali, Ätznatron, Pottasche, Soda, unterchlorigsaures Natron und Chlorkalk. Die erhaltenen Spannungsdifferenzen bei verschiedenen Elementen waren die folgenden:

Retortenkohle — KOH oder $Na\,OH$ — Pt . . . 0·06—0·19 Volt,
„ — $Na_2\,CO_3$ „ $K_2\,CO_3$ — Pt . . . 0·11—0·19 „
„ — $Na\,ClO$ — Pt . . . 0·2—0·3 „
„ — $Ca\,Cl_2O_2$ — Pt . . . 0·11—0·22 Volt.

Besondere Untersuchungen über Kohlelösungen stellte Coehn an. Auf Grund seiner Versuche baute er das folgende Element. Er tauchte in heiße, verdünnte Schwefelsäure einen Kohlenstab und eine $Pb\,O_2$-Platte aus einem geladenen Akkumulator. Dieses Element schloss er durch einen äußern Widerstand von 100 Ohm. Solange die $Pb\,O_2$-Platte noch Ladung besaß, ergab sich eine Klemmenspannung von 1·03 Volt. Ersetzt man die Kohle durch Platin, dann ist die Wirkung schwächer. Nachdem bei Verwendung von Kohle die Anodengase fast 70% CO_2, 30% CO und etwa 1% O enthalten, ist der Schluss gestattet, dass die elektromotorische Kraft thatsächlich durch Lösung der Kohle hervorgerufen wird. Allein es ist wahrscheinlich, dass auch die Oxydation der Kohle bei der Erzeugung der elektromotorischen Kraft mitwirkt.

24. Oxydation gasförmiger Brennstoffe. Die Elemente der dritten Gruppe fußen auf folgenden Versuchsergebnissen: Natürliche Kohle wird unter Luftzutritt geglüht, so dass sie zu Kohlenoxydgas, CO, verbrennt. Dem entwickelten Kohlenoxydgas ist Stickstoff und Kohlensäure beigemengt. Die bei der Bildung des Kohlenoxydgases sich entwickelnde Wärmemenge muss man verloren geben. Dieser Verlust an Arbeit beträgt 30·4%. Das Kohlenoxydgas wird nun unter Sauerstoffaufnahme aus der Luft zu Kohlensäure verbrannt. Bei dieser Verbrennung werden nun 69·4% der in der Kohle schlummernden, und zu gewinnenden Arbeit frei. Diese Energie soll nun in elektrische Arbeit

umgewandelt werden. Bucherer hat die elektromotorische Kraft eines solchen Elementes berechnet. Er fand bei der Temperatur von 18° C. eine elektromotorische Kraft von 1·406 Volt und bei der Temperatur von 600° C., der Rothglühhitze entsprechend, eine elektromotorische Kraft von 1·266 Volt. Diese elektromotorischen Kräfte entsprechen einer Ausnützung von 70%, respektive 63% der frei werdenden Energie. Wir wollen im nächsten Kapitel einige Gasbatterien besprechen.

III. Gasbatterien.

25. Wesen der Gasbatterien. Befindet sich ein Gas in einem geeigneten Lösungsmittel und taucht man in das Gas und den Elektrolyten Elektroden, so zeigt sich zwischen beiden eine Spannungsdifferenz. Verbindet man sie durch einen äußeren Leiter, dann fließt in demselben ein elektrischer Strom, hervorgerufen durch die wandernden Ionen, welche ihre elektrischen Ladungen an die Elektroden abgeben. Die Größe der geweckten elektromotorischen Kraft ist wesentlich abhängig von der Gasdichte, da ja von ihr die Zahl der in Thätigkeit tretenden Ionen abhängt.

Die Gaselemente zeigen wesentlich den folgenden Bau. Über einem flüssigen Elektrolyten befinden sich zwei verschiedene Gase. In die Gase und in den Elektrolyten tauchen Elektrodenbleche, welche mit Platinschwamm oder Platinschwarz überzogen sind, weil diese Körper die Eigenschaft haben, an ihrer Oberfläche Gase zu verdichten. Nach Berthelot gehen dabei die Gase mit dem Platinschwamm eine chemische Verbindung ein. Cailletet und Collardeau haben durch Versuche bewiesen, dass die Aufnahmefähigkeit des Platinschwamms mit wachsendem Druck steigt, so dass der Entladungsstrom länger andauert. So dauerte z. B. der Entladungsstrom bei einem $H-O$-Element, bei welchem die Elektroden aus Platinschwamm bestanden, welche Elektoden bei gewöhnlichem Athmosphärendruck geladen wurden, 10 Sekunden. Wurde das Element in eine Stahlbüchse eingeschlossen und der Druck in derselben auf 600 Atmosphären erhöht und die Ladung der Elektroden bei diesem Drucke vorgenommen, dann dauerte der Entladungsstrom 30 Minuten. Die ersten Gaselemente baute Grove. Er verwendete bei seinen Elementen Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenoxyd und Chlor.

26. Gaselemente. Grove fand als Ergebnis seiner Versuche, dass nur jene Gaselemente eine bemerkenswerte elektromotorische Kraft liefern, welche Wasserstoff enthalten. Ein solches Element zeigt die Figur 24. In eine Glasflasche A tauchen zwei oben geschlossene Glasröhren, welche von durchbohrten Pfropfen getragen werden. In diesen

Röhren befinden sich Platinstreifen, welche an Platindrähten hängen. Die Flasche und die Röhren werden nun mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, und zwar letztere bis zur Hälfte. Leitet man jetzt bei *b* einen elektrischen Strom in das Element, welcher Strom bei *a* austritt, dann findet eine Wasserzersetzung statt und in der einen Röhre sammelt sich Sauerstoff, *O*, und in der anderen Wasserstoff, *H*. Schaltet man nun den Strom ab und verbindet die Elektroden *b* und *a* durch einen äußeren Leiter, dann fließt in demselben ein elektrischer Strom, der von *b* nach *a* fließt. Die Mengen der Gase in den Röhren verringern sich während des

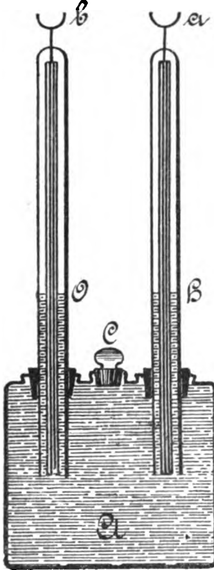


Fig. 24.
Grove-Gaselement.

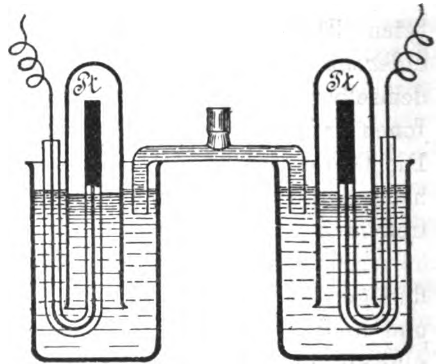


Fig. 25.
Smale-Gaselement.

Stromflusses dadurch, dass durch den Strom eine Wasserzersetzung derart stattfindet, dass dort, wo sich in der Röhre Sauerstoff befindet, der Wasserstoff abscheidet und umgekehrt. Die beiden in einer Röhre befindlichen Gase verbinden sich miteinander und das Gasvolumen verringert sich. Ein solches Element hat die gleiche Stärke wie ein gewöhnliches Kupfer-Zink-Element. Zur Zersetzung von Schwefelsäure genügen vier in Serie geschaltete Elemente.

Interessant ist die von Beetz aufgestellte Reihe von Elementen und ihrer elektromagnetischen Kräfte. Stellt man die Elemente so zusammen, dass die Flüssigkeit verdünnte Schwefelsäure ist, eine Platinplatte in Wasserstoff, die andere Platinplatte in einem anderen Gase sich befindet, dann beträgt die elektromotorische Kraft eines solchen Elementes, wenn wir die des Daniellelementes gleich 100 setzen:

bei Platin mit Chlor . . . . 128·0,
„ „ „ Brom . . . . 113·7,

bei Platin mit Sauerstoff	. . . . .	97·5,
„ „ „ Jod	. . . .	97·2,
„ „ „ Stickoxydul	. . . .	86·7,
„ „ „ Cyangas	. . . . .	86·0,
„ „ „ Kohlensäure	. . . .	85·2,
„ „ „ Stickoxyd	. . . . .	83·5,
„ „ „ athmosphärischer Luft		83·4,
„ reinem Platin	. . . .	81·4.

In der Figur 25 ist das Element von J. Smale dargestellt. Zwei Bechergläser werden mit dem Elektrolyten gefüllt. Die Verbindung der beiden Gläser miteinander geschieht durch ein Glasrohr, das mit dem gleichen Elektrolyten gefüllt ist, wie die beiden Bechergläser. In die

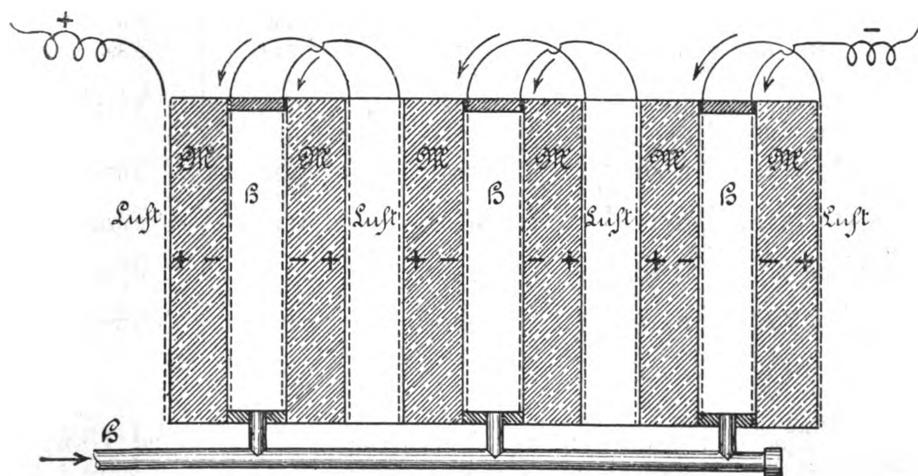


Fig. 26. Mond- und Langer-Gaselement.

beiden Bechergläser werden die zwei Probegläschen mit dem geschlossenen Ende nach aufwärts getaucht, welche Gläschen ebenfalls mit der elektrolytischen Flüssigkeit gefüllt sind. In die beiden Probegläschen ragen zwei Platinelektroden, deren Zuleitungsdrähte durch Glasröhrchen geschützt sind. Die Gase werden in die Probegläschen eingeführt, so dass die Flüssigkeit soweit verdrängt wird, dass sie die Platinbleche noch benetzt. Smale untersuchte verschiedene Zusammenstellungen. Als Elektrolyte verwendete er zumeist Normallösungen, das sind solche Lösungen, bei welchen auf 1 *l* Wasser soviel Gramm der Verbindung kommen, als das Molekulargewicht derselben beträgt. In der folgenden Tabelle sind die Versuchsergebnisse mitgetheilt.

Elektroden	Elektrolyt	Elektr. Kraft in Volt	Einzelpotentiale	
			H — Elektrolyt	Andere Elektrode — Elektrolyte
H — O	H_2SO_4 normal	1·073	0·321	0·752
H — O	HCl „	0·878	0·317	0·562
H — O	KCl „	0·971	0·532	0·439
H — O	NaOH „	1·089	1·052	0·038
H — O	KOH „	1·091	1·053	0·037
H — O	NaCl „	0·969	0·530	0·439
H — O	Na_2SO_4 „	1·065	0·542	0·541
H — O	K_2SO_4 „	1·066	0·526	0·540
H — Cl	HCl „	1·429	0·317	1·112
H — Cl	KCl „	1·589	0·532	1·057
H — Cl	NaCl „	1·578	0·530	1·048
H — Cl	$ZnCl_2$ „	1·535	0·469	1·077
H — Br	BrH „	1·111	0·316	0·895
H — Br	BrNa „	1·375	—	—
H — J	JH „	0·530	0·319	0·211
H — J	JK „	0·947	—	—
H — Luft	H_2SO_4 $\frac{1}{10}$ „	1·008	0·321	0·676
H — Luft	HCl $\frac{1}{10}$ „	0·939	0·317	0·623
H — O	H_2SO_4 $\frac{1}{10}$ „	1·070	0·321	0·748
H — O	HCl $\frac{1}{10}$ „	0·998	0·317	0·682

Eine sehr interessante Gaskette rührt von Mond und Langer her, welche die Figur 26 in ihrem principiellen Aufbau zeigt. Die Platten *M*, welche aus einem durchlässigen Material, wie Stein, Gips und Pappe bestehen, sind auf den Seiten, welche sie einander zukehren, mit einem engmaschigen Netzwerk aus dünnem Platinblech belegt, welches Netz einen Platinmoorüberzug erhält. Diese Belegungen sind in der Figur durch gestrichelte Linien gekennzeichnet. In die Hohlräume zwischen den Platten kommt abwechselnd Sauerstoff, respektive Luft, und Wasserstoff. Erstere Hohlräume stehen zu diesem Zwecke mit der äußeren Luft in Verbindung, letztere sind an eine Rohrleitung angeschlossen, sonst aber luftdicht verschlossen. Die Platten werden mit verdünnter Schwefelsäure getränkt. Die positiven Wasserstoffjonen wandern nun gegen den Luftraum, die negativen SO_4-Ionen in entgegengesetzter Richtung. Zunächst verbinden sich die Wasserstoff-Jonen mit den SO_4-Ionen zu Schwefelsäure. Die Folge davon ist, dass die Schwefel-

säure auf den, den Wasserstoffräumen zugekehrten Seiten der Platten immer konzentrierter wird. Der noch verbleibende Wasserstoff bildet mit den Sauerstoff-Jonen Wasser. Die Platinbelegungen erhalten die in der Figur mit + und — bezeichneten Ladungen. Die Elemente der Kette werden, wie in der Figur gezeichnet, in Serie verbunden. Von Zeit zu Zeit wird die Gaszufuhr gewechselt, das heißt die Räume, die früher Luft enthielten, bekommen jetzt eine Füllung mit Wasserstoff und umgekehrt. Dieser Wechsel geschieht deshalb, damit der innere Widerstand der Elemente infolge der Konzentrationsänderung der Schwefelsäure nicht zu stark zunehme. Ein Element mit Gipsplatten von 8 *mm* Dicke und 350 cm^2 Oberfläche hat eine elektromotorische Kraft ven 0·97 Volt und einen inneren Widerstand

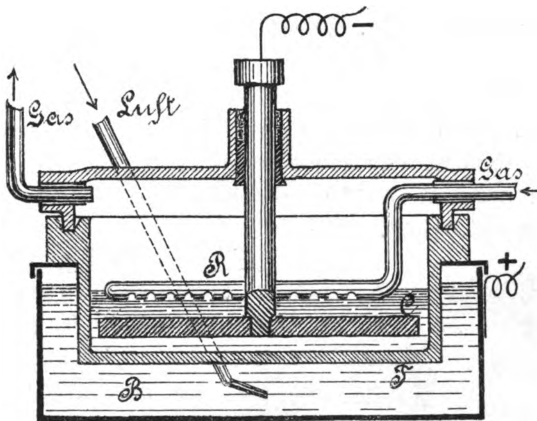


Fig. 27. Bunsen-Gaselement.

von 0·02 Ohm. Das Element ist imstande bis 3 Ampère Strom abzugeben, doch sinkt in diesem Falle die elektromotorische Kraft sehr rasch. Ein Element, dessen Elektroden eine Oberfläche von je 700 cm^2, 35 *g* Platinblech und 1 *g* Platinmoor besitzen, hat bei einer Stromentnahme von 2 Ampère 0·73 Volt Klemmenspannung. Leider verliert das Platinmoor nach einiger Zeit seine Aufnahmefähigkeit für Wasserstoff, wahrscheinlich verursacht durch Beimengungen des Wasserstoffs, wie CO und C_2H_4 das Äthylengas. Dieser Umstand ist auch die Ursache, warum die Elemente zu keiner dauernden Stromentnahme geeignet sind.

Figur 27 zeigt ein Gaselement von Borchers. *T* ist ein durchlässiges Thongefäß, in welchem sich eine Lösung von Kupferchlorid $CuCl_2$ und Salzsäure HCl befindet. In diese Lösung taucht eine

als Anode dienende scheibenförmige Kohlenplatte *C*. Das Thongefäß ist luftdicht verschlossen und wird in dasselbe mit Hilfe des Rohres *R* Leuchtgas eingeführt. Das Thongefäß ist von einem äußeren Gefäß aus Eisen oder Blei umgeben, welches Gefäß als Kathode dient. In diesem Gefäße befindet sich eine Lösung von Weldonschlamm in basischem Kalciumchlorid, $Ca\,Cl_2$. Waldonschlamm nennt man ein Gemenge von Braunstein und Ätzkalk. Das Element lieferte bei Klemmenspannungen von 0·61 und 0·07 Volt Stromstärken von 0·01 und 0·42 Ampère. Auch dieses Element ist, obwohl es gegenüber den früher erwähnten unstreitig einen Fortschritt darstellt, technisch nicht verwertbar.

IV. Thermosäulen.

27. Thermoelemente. Die Thermoelemente, deren Zusammenbau die Thermosäulen liefert, beruhen auf der physikalischen Erscheinung, dass man in einem geschlossenen Leiterkreis, der aus zwei stofflich verschiedenen Leitern besteht, eine elektromotorische Kraft dadurch erzeugen kann, dass man zwischen der einen Berührungsstelle der beiden Leiter und der anderen Berührungsstelle einen konstanten Temperaturunterschied dauernd erhält.

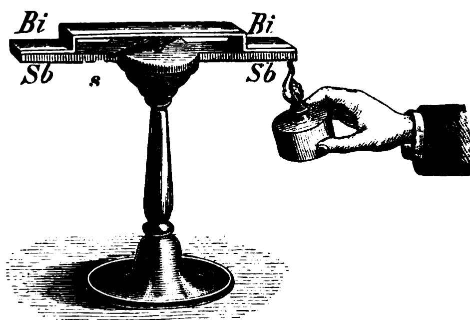


Fig. 28. Thermoelektrischer Grundversuch.

In Figur 28 wird dieser Fundamentalversuch dargestellt. *k* ist ein Kupferbügel, der auf einem Wismutstabe *ab* aufgelöthet ist. In dem Raume zwischen den beiden Metallen schwingt eine Magnetnadel. Der Apparat wird so aufgestellt, dass der Bügel die Richtung des magnetischen Meridianes hat. Dann muss sich die Nadel parallel dem Bügel einstellen. Wird nun die Löthstelle *b* erwärmt, oder die Löthstelle *a* abgekühlt, dann fließt in dem aus Kupferbügel und Wismutstab gebildeten geschlossenen Leiterkreis ein galvanischer Strom, der an der wärmeren Stelle vom Wismut zum Kupfer fließt. Die Stromrichtung lässt sich leicht aus der Ablenkung der Magnetnadel bestimmen. Statt Kupfer und Wismut kann man auch andere Metalle verwenden. Es lässt sich nun eine Reihe von Metallen aufstellen, derart, dass, unter gleichen sonstigen Verhältnissen, der vom Elemente gelieferte Strom umso größer ist, je weiter die beiden Metalle in der Reihe von einander

entfernt sind, und dass bei allen Kombinationen an der wärmeren Löthstelle der Strom vom voranstehenden zum nachstehenden Metalle fließt. Diese Reihe lautet:

Wismut, Nickel, Kobalt, Platin, Kupfer, Quecksilber, Blei, Zinn, Gold, Silber, Zink, Eisen, Antimon.

Die in dem Thermoelemente geweckte elektromotorische Kraft wächst anfangs proportional mit wachsender Temperaturdifferenz. Später nimmt die Temperaturdifferenz rascher zu als die elektromotorische Kraft. Bei einem Maximum angelangt, nimmt, trotz weiterer Steigerung der Temperaturdifferenz, die elektromotorische Kraft wieder ab. Obwohl die vom Elemente erzeugte elektromotorische Kraft nur klein ist, so beträgt z. B. bei einem Wismut-Antimon-Element die elektromotorische Kraft bei 1° Temperaturdifferenz 0·000103 Volt, kann man doch aus den Elementen ziemlich starke Ströme erhalten, weil der innere Widerstand der Elemente sehr klein ist.

Schaltet man mehrere Thermoelemente in Serie, wie es die Figur 29 für eine Reihe von Antimon-Wismut-Elementen zeigt, dann kann man größere elektromotorische Kräfte erhalten. Die Löthstellen 1, 3 und 5 werden erwärmt, die Löthstellen 2, 4 und 6 werden abgekühlt oder auf konstanter Temperatur erhalten. Als sehr interessant gilt die Verwendung solcher Thermosäulen zur Messung kleiner Temperaturdifferenzen mit Zuhilfenahme eines empfindlichen Galvanometers, da die von der Säule in einen bestimmten Widerstand gelieferte Strommenge, innerhalb gewisser Grenzen, der Temperaturdifferenz proportional ist. Der Stromstärke proportional ist aber der Ausschlag am Galvanometer. Die Thermosäulen bieten eine ziemlich ökonomisch arbeitende Elektricitätsquelle, da bei ihnen Wärme direkt in Elektricität umgewandelt wird. Man war darum bestrebt, Thermosäulen zu bauen, welche bei kleinem inneren Widerstande große elektromotorische Kräfte liefern.

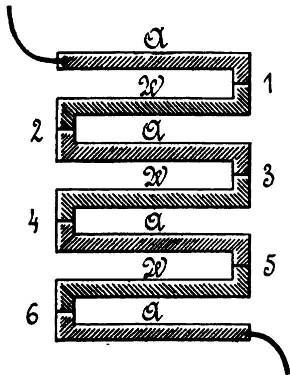


Fig. 29. Thermosäule.

28. Konstruktionen der Thermosäulen. Obwohl es bis heute noch nicht gelungen ist, technisch völlig einwandfreie Säulen zu bauen, stehen doch Thermosäulen vielfach in praktischer Verwendung, besonders die Konstruktion von Gülcher. In der Figur 30 ist diese bekannte Konstruktion zur Darstellung gekommen. Die Erwärmung geschieht mittels Leuchtgasflammen. Die Säule besteht aus 66 in Serie geschal-

teten Elementen. Die bei den Elementen verwendeten Metalle sind Nickel und eine antimonhaltige Legierung. Das Nickel wird in den Elementen in Form von Röhrchen verwendet. Diese Röhrchen, welche gleichzeitig als Gaszuleitungsröhren dienen, stehen auf einer Schieferplatte. Jedes Röhrchen hat an seinem oberen Ende ein Verbindungsstück aufgelöthet, welches nach oben hin eine Hülse bildet. Die antimonhaltige Legierung wird in diese Hülsen eingegossen. Die Antimonelektroden, welche winkelförmig gebogen sind, haben an ihren Enden lange Kupferstreifen angelöthet. Diese Kupferstreifen dienen einerseits zur Verbindung, andererseits zur Kühlung der Elemente. In die in der Figur oben sichtbaren Löcher werden kleine Schornsteine eingesetzt, die aus mit Asbestverkleidung versehenen Glimmerröhrchen bestehen. Die Figur 31 zeigt die innere Einrichtung eines Elementes einer modernen Gülchersäule im Auf- und Grundriss. *B* ist die als Gaszuleitung dienende Nickelelektrode, *D* ein Heizring aus Schmiede-

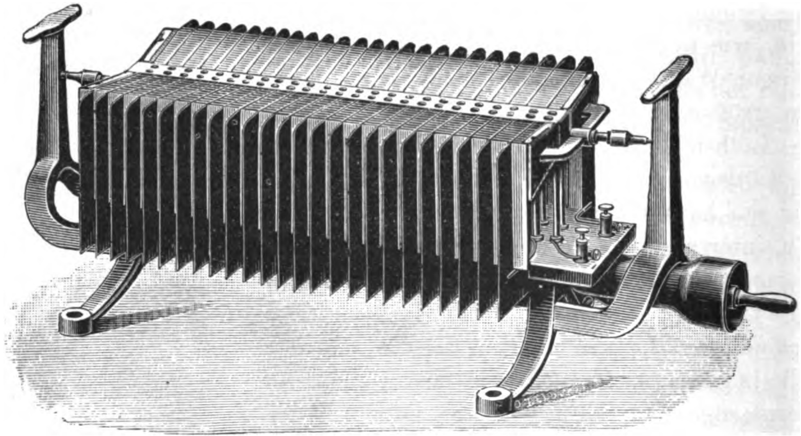


Fig. 30. Gülcher-Thermosäule.

eisen, welcher durch die mit Luft vermengte Leuchtgasflamme erhitzt wird, *A* die aus einer Antimonlegierung durch Guss hergestellte Elektrode. Die in der Figur angedeutete, in die Elektrode *A* eingegossene Eisendrahtspirale dient zur Erhöhung der Festigkeit dieses Theiles der Elektrode. Der Heizring steht mit dem Nickelrohre durch drei oder vier Klauen in Verbindung, die mit dem Nickelrohr hart verlöthet sind. Zur Abkühlung der Elektrode *A* dient der Kupferblechstreifen *C*. Zur Verbindung der Elemente untereinander dienen die Kupferdrähte *C'*, welche einerseits an einen Streifen *C*, andererseits an ein Nickelrohr angelöthet sind. *K* ist der Kamin aus Porzellan, welcher innen mit Glimmer verkleidet ist.

Die Elemente befinden sich in 2 hintereinander geschalteten Reihen auf einem Gestell aus Gusseisen. Die Gaszufuhr erfolgt durch ein Rohr, das unterhalb der Rohre *B* montiert ist. In diesem Zuleitungsrohre findet auch die Vermischung des Gases mit Luft statt. Der positive Pol ist die Antimonlegierung, der negative Pol die Nickelröhre. Der Strom fließt in den Elementen so, wie es die Pfeile andeuten. Diese Säulen werden von der Firma J. Pintsch in Berlin in nachfolgenden 3 Größen gebaut.

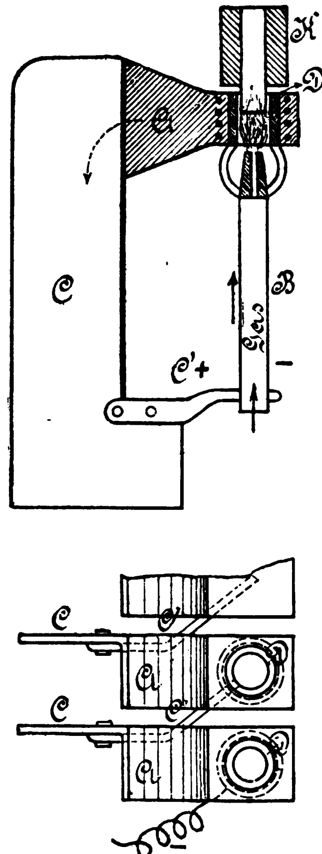


Fig. 31. Gülcher-Thermosäule.

Diese Thermosäulen können unmittelbar an die Gasleitung angeschlossen werden, nur darf der Gasdruck nicht über 50 *mm* steigen. Will man eine völlig konstante elektromotorische Kraft erhalten, dann muss man in die Gaszuleitung einen Gasdruckregulator einschalten. Eine Betriebsstunde kostet bei den 3 Größen 1, 2 bezw. $2^1/_2$ Pfennige. Will man die größte Leistung (Effekt) erzielen, dann muss man beim Betriebe den äußeren Widerstand gleich dem inneren Widerstande der Säule machen. Die Klemmenspannungen betragen hiebei 0·75, 1·5 und 2·0 Volt, weil die Säulen bei dieser Schaltung 3 Ampère Strom liefern. Die entsprechenden Leistungen der Säulen betragen dann 2·25, 4·5 und 6·0 Watt. Bei den größeren Säulen beträgt die gesammte elektrische Leistung 70 Watt pro 1 m^3 stündlichen Gasverbrauch.

Größe	Anzahl der Elemente	Stündl. Gasverbrauch in Litern	Elektr. Kraft in Volt	Innerer Widerstand in Ohm
I	26	70	1·5	0·25
II	50	130	3·0	0·50
III	66	170	4·0	0·65

Die Konstruktion der Säule ist eine derartige, dass die Erwärmung auch dann konstant bleibt, wenn der Gasdruck schwankt. Die in der Figur dargestellte Säule besitzt einen inneren Widerstand von 0·65 Ohm, verbraucht pro Stunde 170 Liter Leuchtgas und liefert hiebei eine konstante elektromotorische Kraft von 4 Volt.

29. Eintheilung der Thermoelemente. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass man neben Metallen auch Metalloxyde, Metallsulfide und Metalllegierungen verwenden kann, um thermoelektrische Elemente aufzubauen. Man kann darum die Thermoelemente in 4 Gruppen eintheilen:

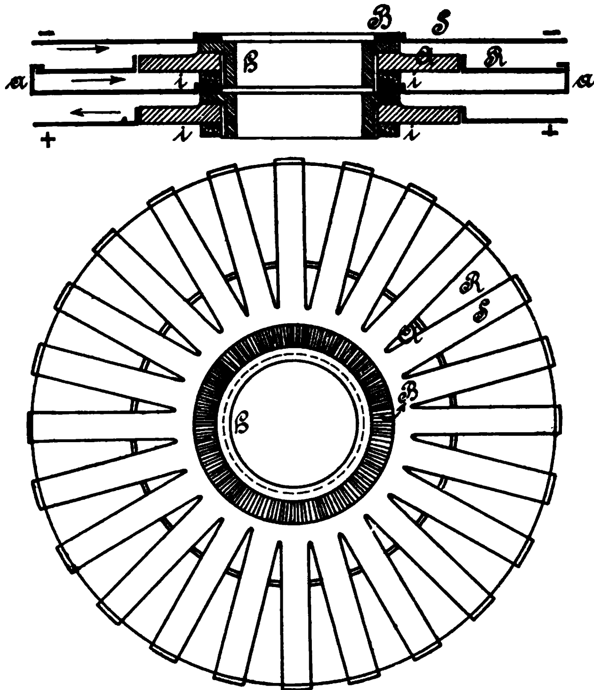


Fig. 32. Raub-Thermosäule.

1. Thermoelemente, bei welchen beide Elektroden metallische Leiter sind.

2. Thermoelemente, deren eine Elektrode aus Metall, deren andere aus einer Metalllegierung besteht.

3. Thermoelemente, deren beide Elektroden aus Metalllegierungen bestehen.

4. Thermoelemente, bei welchen die eine Elektrode aus Metall, die andere aus einem Metalloxyd oder Metallsulfid besteht.

Die Elemente der Gruppe 1 haben den kleinsten inneren Widerstand, die der Gruppen 2 und 3 einen größeren, die Elemente der Gruppe 4 den größten. Dafür erhält man mit Elementen der Gruppen 2 und 3 größere elektromotorische Kräfte, als mit Elementen der Gruppe 1. Mit Elementen der Gruppe 4 die höchsten elektromotorischen Kräfte. Der Hauptnachtheil der Elemente der Gruppe 4 besteht darin, dass die Metalloxyde und die Metallsulfide nur geringe Festigkeit besitzen.

30. Weitere Konstruktionen von Thermosäulen. Wir wollen nun einige, speciell moderne, Konstruktionen von Thermoelementen und Thermosäulen kennen lernen.

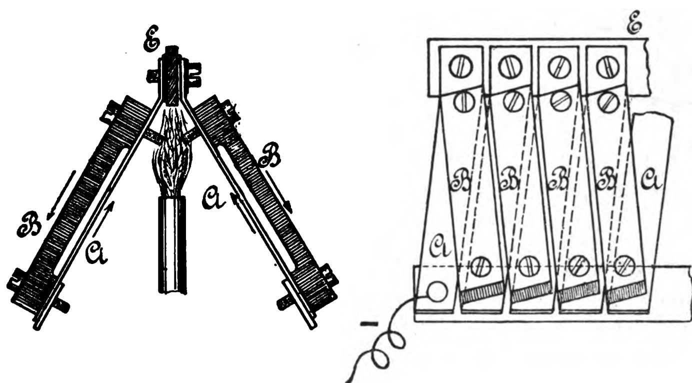


Fig. 33. Marcus-Thermosäule.

Bemerkenswert ist die in Figur 32 dargestellte Säule von E. Raub. Auch bei diesen Säulen findet die Erwärmung unter Vermittlung von Heizringen aus Kupfer statt. *B* ist die ringförmige, aus Neusilber bestehende, positive Elektrode. Die aus Kupferblech hergestellten, strahlenförmigen Ansätze *S* dienen zur Kühlung der Elektrode. *A* ist die aus Antimon bestehende negative Elektrode. Auch diese ist zwecks Kühlung mit einem Kupferringe verlöthet. Die beiden Elektroden sind nicht unmittelbar in Berührung, zwischen beiden liegt vielmehr der flanschenförmige Theil des Heizringes *H*. In dem cylindrischen Raume des Heizkörpers streichen die Heizgase. *i* ist ein isolierender Ring zwischen je 2 Elementen. Der Ring besteht aus feuerfestem Material. Um eine Säule zu bilden, werden beliebig viele Elemente aufeinander geschichtet. Die Reihe wird oben und unten durch einen starken Eisenring geschlossen. Diese Ringe besitzen Angüsse für Schrauben, mit Hilfe welcher die Elementenreihe zusammengepresst wird. Die ganze Säule kommt in ein Eisengestell und wird mit einem Blechmantel umschlossen.

Die äußere kalte Luft streicht von oben nach unten durch die Säule und kühlt hiebei die Ansätze *S* und die Ringe *R*. Diese Luft wird unten der Flamme zugeführt und steigt hierauf erwärmt durch den centralen Theil der Säule und gibt hiebei die Wärme an die Heizringe *H* ab. Die Säule liefert für 1 m^3 stündlichen Gasverbrauch 80 Watt.

Erwähnenswert, wenn auch älteren Datums, ist die Thermosäule

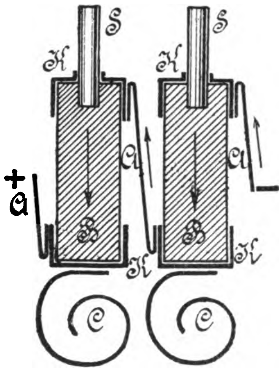


Fig. 34.
Zwei Elemente der Noë-Thermosäule.

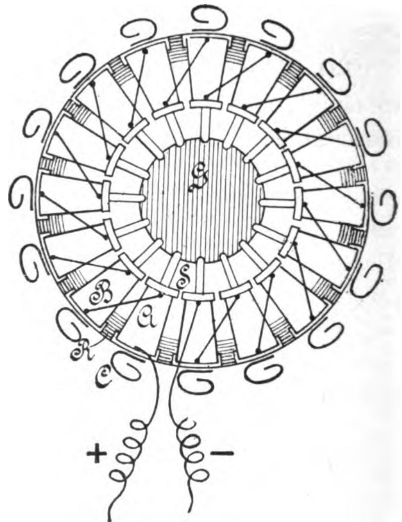


Fig. 35. Noë-Thermosäule.

von Marcus. Figur 33 zeigt links ein Element derselben und rechts den Zusammenbau mehrerer Elemente. *A* ist der negative Pol, der aus einem Blechstreifen aus Neusilber mit 5% Kobaltgehalt besteht. *B* ist der positive Pol. Er besteht aus einem gegossenen prismatischen Stab dessen Material eine Legierung folgender Zusammensetzung ist: 12 Theile Antimon, 5 Theile Zink und 1 Theil Wismut. *E* ist ein Eisenstab. Die Blechstreifen *A* sind mittelst Schrauben mit dem Stabe *E*, jedoch elektrisch isoliert, verbunden. An den Eisenstab sind nun zu beiden Seiten Blechstreifen *A*, respektive Elemente angeschlossen. Die Gasflammen geben ihre Wärme an den Eisenstab *E* ab, welcher die Enden von *A* und damit die oberen Berührungsstellen von *A* und *B* erwärmt. Die anderen Enden der Elemente werden behufs Abkühlung in kaltes Wasser getaucht. Der in den Elementen fließende Strom hat die durch die Pfeile angegebene Richtung. Ein Element ergab eine elektromotorische Kraft von 0·05 Volt. Das Element hat einen verhältnismäßig großen inneren Widerstand, der durch Oxydation der Verbindungsstellen während des Gebrauches noch wächst. Die Legierung ist spröde und leicht zerbrechlich.

Die Thermosäule von Noë ist ein Nachfolger dieser Säule. In der Figur 34 sind 2 Elemente und in Fig. 35 eine Thermosäule dieses Systems dargestellt. *A* sind die negativen Elektroden. Dieselben bestehen aus Neusilberdrähten und sind an den Kappen *K* angelöthet. Die positive Elektrode *B* besteht aus einer Legierung, deren Zusammensetzung lautet: 62·5% Antimon, 36·5% *Zn*. Die Kappen *K* sind mit den Elektroden *B* vergossen. Zur Erwärmung dienen die Heizstifte *S* aus Kupfer, welche in die Masse der Elektroden *K* hineinragen. Die Heizflamme gibt ihre Wärme an diese Kupferstifte ab. Die spiralig gerollten Blechstreifen aus Kupfer *C* sind zum Zwecke einer Luftkühlung vorgesehen. Während größere Säulen einen der Gülchersäule ähnlichen Aufbau erhalten, zeigen kleinere Säulen die in der Figur 35 dargestellte Konstruktion. Diese Säule besteht aus 16 Elementen, welche derart an einem Ringe *R* befestigt sind, dass alle Heizstifte nach innen, alle Kupferblechstreifen nach außen gekehrt sind. Die Heizstifte sind sämmtlich am Rande einer Glimmerscheibe *G* befestigt. Unterhalb der Glimmerscheibe befindet sich die Gasflamme. Diese Flamme breitet sich kreisförmig aus und erwärmt die Heizstifte sehr gleichmäßig. Zum Schutze der Elektroden vor zu starker Erwärmung ist über die Stifte ein Ring aus Glimmer oder Asbest geschoben, der jedoch in der Figur nicht dargestellt ist. Ein Element dieser Säule hat eine elektromotorische Kraft von ungefähr 0·1 Volt.

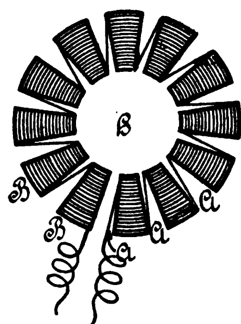


Fig. 36.
Zusammenstellung eines Elementkranzes der Cox-Thermosäule.

Diese Säulen werden mit einigen Abänderungen von Rebiček gebaut. Bei diesen Säulen bestehen die Elektroden *B* aus Metall, die Bleche *A* aus einer Legierung, deren Zusammensetzung nicht veröffentlicht wurde. Eine Säule dieser Bauart, aus 50 Elementen bestehend, ergab einen stündlichen Gasverbrauch von 540 Litern. Die erzeugte elektromotorische Kraft betrug 4·3 Volt, der innere Widerstand der Säule 0·778 Ohm. Auf 1 cm^3 Gasverbrauch pro Stunde entfällt eine Energie von 22 Watt. Eine auch in mechanischer Hinsicht gute Konstruktion einer Thermosäule rührt von Cox her. In der Figur 36 ist ein Elementenkranz dargestellt. Die Elektroden *B* bestehen aus einer Antimon-Zink-Legierung. Die Elektroden *A* sind Kupferstreifen, welche bei einer solchen Temperatur in die Legierung eingeschmolzen werden, dass zwischen Kupfer und Legierung eine innige Berührung dadurch stattfindet, dass Kupfer und Legierung allmählich in einander über-

gehen. Dieses Detail der Säule ist von großer Bedeutung, weil ein gewöhnlicher Mangel der Thermosäulen darin besteht, dass bald eine Lockerung der Verbindungsstelle der Elektroden oder eine Oxydation derselben eintritt. Der Elementenkranz wird in eine feuerfeste Masse derart eingebettet, dass derselbe sowohl außen als auch innen mit einem Mantel aus dem feuerfesten Material verkleidet ist. Nun kommt der Ring in ein scharfes Ofenfeuer, damit die feuerfeste Masse erhärte und oberflächlich verglase. Der cylindrische innere Raum des Elementenkranzes dient als Heizraum. Der äußere Mantel des Kranzes wird durch Wasser gekühlt. Den Zusammenbau von 16 Elementenkränzen zu einer Säule die mittels Kohlenfeuerung erwärmt wird, zeigt die Figur 37. Wir sehen in der Figur sehr deutlich die Elementenkränze *B*, die Mäntel aus feuerfestem Material, M_1 und M_2, den Heizraum *H* und den Rost *F*. Zwischen dem Mantel M_2 und dem Kupfermantel M_3 befindet sich das Kühlwasser, welches dem Raume durch das Rohr R_1 zufließt, während es durch das Rohr R_2 abfließt. *S* ist ein Schirm, der dazu gehört, zu verhindern, dass die Heizgase zu rasch durch den aufgesetzten Kamin entweichen. Bei 42 Liter stündlichem Gasverbrauch gibt eine Säule bei einer Klemmenspannung von 5 Volt einen Strom von 5·5 Ampère, das sind also 27·5 Watt; eine andere Säule gibt bei einem stündlichen Gasverbrauch von 70 Litern 11 Volt Kemmenspannung und einen Strom von 4 Ampère, welche Leistung 44 Watt entspricht. Bei gleichem inneren und äußeren Widerstande ergibt sich für 1 m^3 stündlichen Gasverbrauch eine Leistung von 300 Watt, wenn wir selbst annehmen, dass die angegebene Stromstärke die Stromstärke bei Kurzschluss der Säule ist.

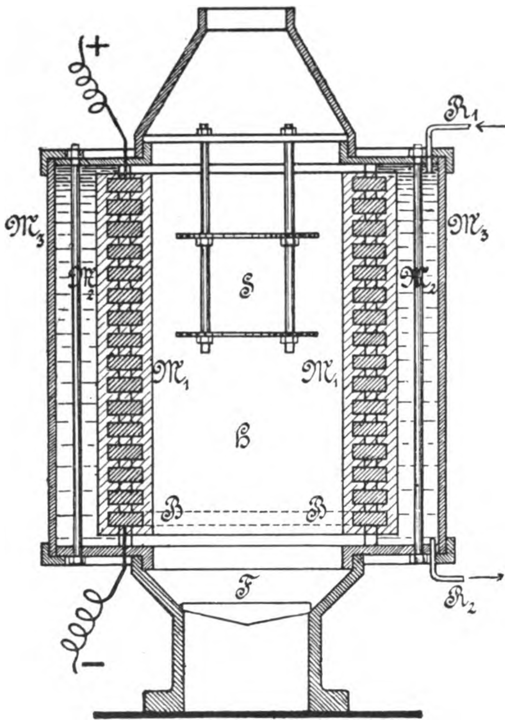


Fig. 37. Cox-Thermosäule.

31. Erwärmung und Abkühlung der Löthstellen. G. Meyer hat vorgeschlagen, die Thermoströme auf eine andere als die gewöhnliche Art zu erzeugen. Statt zwischen zwei aufeinanderfolgenden Löthstellen eine konstante Temperaturdifferenz herzustellen, werden die Löthstellen abwechselnd erwärmt und abgekühlt. Auf diese Weise lassen sich sowohl Gleich- als auch Wechselströme erzeugen. Die Vortheile dieser Methode sind die folgenden: Da die Erhitzung nur kurze Zeit andauert, kann man viel stärkere Erwärmungen vornehmen, als bei der gewöhnlichen Methode der Erzeugung von Thermoströmen, ohne dass die Berührungsstellen der Elektroden gefährdet würden. Das Innere der Elektroden bleibt von den Temperaturerhöhungen verschont, weil die Erwärmungen und Abkühlungen so rasch aufeinander folgen, dass lediglich die Berührungsstellen der Metalle den Temperaturänderungen unterworfen werden. Dieser Umstand hat auch zur Folge, dass nur wenig Wärme durch Fortleitung und Ausstrahlung verloren geht. Zur Verwirklichung seines Vorschlages gibt Meyer 4 Methoden an. Die abwechselnden Erwärmungen und Abkühlungen der Löthstellen können stattfinden

1. indem man die Löthstellen vor Heiz- und Kühlvorrichtungen vorbeibewegt,
2. indem man die Löthstellen und infolgedessen die Säule stille stehen und dafür die Heiz- und Kühlapparate sich bewegen lässt,
3. indem man die abwechselnde Erwärmung und Abkühlung durch bewegliche Schirme erzeugt, so dass sowohl die Säule als auch die Apparate stehen, und schließlich
4. indem man die Berührungsstellen der Elektroden behufs Erwärmung und Abkühlung mit heißer und kalter Luft oder mit einem anderen Wärmeträger bestreichen lässt. Die Zuführung der Luft erfolgt durch geeignete Steuerungsvorrichtungen. Meyer gibt als bei einem Versuche gefundenen Wirkungsgrad 62% an.

V. Theorie der Thermoströme und Thermoelemente.

32. Thermoströme. Die Erscheinungen der Thermoelektricität sind bis heute noch nicht völlig erklärt, obwohl eine ganze Reihe hervorragender Forscher Theorien zur Erklärung derselben aufgestellt haben. Der erste, der die thermoelektrischen Erscheinungen eingehend untersuchte, war Peltier, nach welchem das sogenannte Peltier'sche Phänomen benannt ist. Nimmt man einen Stab, der zur Hälfte aus Antimon zur Hälfte aus Wismut besteht, welche beiden Theile durch Löthung mit einander verbunden sind, und erwärmt man die Löthstelle,

dann fließt in den aus dem Stab und einem äußeren Leiter gebildeten geschlossenen Stromkreis ein Strom, der an der Löthstelle vom Wismut zum Antimon fließt. Lässt man nun durch den Stab, nachdem er wieder die Außentemperatur angenommen hat, einen Strom in der Richtung fließen, wie der frühere Thermostrom, dann wird durch ihn die Löthstelle unter die Außentemperatur abgekühlt. Lässt man hingegen den Strom in der umgekehrten Richtung durch den Stab gehen, dann wird die Löthstelle erwärmt. Versuche haben nun gezeigt, dass die erzeugte Wärmemenge der aufgewendeten elektrischen Arbeit proportional ist und umgekehrt. Bezeichnen wir mit Q die Wärmemenge, mit J die Stromstärke, mit e die Spannungsdifferenz an der Berührungsstelle, mit A das mechanische Wärmeäquivalent und mit K eine Konstante, dann gilt folgende Gleichung:

$$A = K \,.\, A \,.\, J \,.\, e.$$

Zur Erklärung dieses Verhaltens gibt Wüllner folgendes Bild aus dem Gebiete der Hydraulik. Wir denken uns ein Gefäß, das mit Wasser gefüllt ist. Aus der Seitenwand dieses Gefäßes führt ein kapillares Rohr zunächst horizontal, hierauf vertikal nach aufwärts, schließlich wieder horizontal und mündet in ein zweites, mit Wasser gefülltes Gefäß. Dieses zweite Gefäß habe einen so kleinen Durchmesser, dass im Gleichgewichtszustande das Wasser in diesem Gefäße höher steht als im ersten Gefäße und das Kapillarrohr völlig mit Wasser erfüllt ist. Der senkrechte Theil des Kapillarrohres sei kürzer als die Niveaudifferenz. Diese Niveaudifferenz ist nach den Lehren der Hydraulik die Folge der verschieden großen Oberflächenspannungen in den beiden Gefäßen. Üben wir jetzt auf den Flüssigkeitsspiegel im ersten Gefäße einen Druck aus, dann wird eine Flüssigkeitsströmung aus dem ersten Gefäße durch das Kapillarrohr in das zweite Gefäß erfolgen. Der Flüssigkeitsstrom wird dabei konstant bleiben, wenn wir nur aus dem zweiten Gefäße soviel Wasser ablassen, als ihm aus dem ersten zufließt. Obwohl nun das Wasser im senkrechten Theile des Kapillarrohres emporsteigt, brauchen wir zu seiner Fortbewegung nicht mehr Arbeit zu leisten als im wagrechten Theile des Rohres, nämlich die Arbeit zur Überwindung der Reibung. Die Ursache davon ist der Umstand, dass die Flüssigkeit im senkrechten Theile des Rohres von der Differenz der Oberflächenspannungen getragen wird, es bedarf also keines Arbeitsaufwandes, um die Wassermenge gegen die Anziehungskraft der Erde zu bewegen. Dieser Fall bietet ein Analogon zu dem folgenden aus dem Gebiete der thermoelektrischen Erscheinungen. An der Berührungsstelle zweier verschiedener Metalle findet eine Scheidung

der Elektricitäten statt. Das eine Metall zieht die positive, das andere die negative Elektricität an. Auf die elektrischen Theilchen wirken aber nicht nur die elektrischen, sondern auch molekulare Anziehungen. Die Scheidung der Elektricitäten findet nun solange statt, bis sich diese beiden Anziehungen das Gleichgewicht halten. Senden wir nun durch diese Berührungsstelle einen galvanischen Strom, dann wird die Potentialdifferenz zwischen den beiden Elektricitätsmengen, je nach der Richtung des Stromes, entweder vergrößert oder verkleinert. Nehmen wir jedoch an, es bestehen an der Berührungsstelle bloß molekulare Kräfte, dann werden diese durch den Stromdurchgang keine Veränderung erleiden, und der galvanische Strom wird an dieser keine andere Arbeit leisten müssen. Die an dieser Stelle von dem Strome erzeugte Wärmemenge ist keine andere als die an irgend einer anderen Stelle des Leiterkreises, an welcher der Widerstand der gleiche ist. Der Strom hat an diesen Stellen bloß den Leitungswiderstand zu überwinden, gerade so, wie im analogen Beispiele aus der Hydraulik das Wasser im vertikalen Theile des Kapillarrohres bloß die Rohrreibung überwinden muss. Nehmen wir jetzt an, bei unserem hydraulischen Apparate sei der vertikale Theil des Verbindungsrohres länger als es der Differenz der Oberflächenspannungen in den beiden Gefäßen entspricht. Wollen wir jetzt wieder, dass das Kapillarrohr gefüllt sei und ein konstanter Strom vom ersten Gefäß über das Kapillarrohr in das zweite Gefäß stattfinde, dann müssen wir auf den Flüssigkeitsspiegel des ersten Gefäßes einen dauernden Druck ausüben und aus dem zweiten Gefäße soviel Flüssigkeit ablassen, als ihm das Verbindungsrohr liefert. In diesem Falle haben wir eine größere Druckarbeit zu leisten als im früheren Beispiele, denn das Wasser muss jetzt auch gegen die Anziehungskraft der Erde gehoben werden.

Übertragen wir diesen Fall auf unser Beispiel aus der Thermoelektricität. Wir nehmen an, dass die Größe der Potentialdifferenz an der Berührungsstelle nicht nur von molekularen Kräften abhängt, sondern auch ein Resultat von Wärmearbeit ist. Wird nun durch diese Stelle ein galvanischer Strom gesendet, dann verkleinert oder vergrößert sich durch denselben die Potentialdifferenz. Wird die Potentialdifferenz vergrößert, dann tritt an dieser Stelle ein Ausgleich der Elektricitäten ein und infolge dessen eine Wärmeentwicklung. Die erzeugte Wärme entspricht der Wärmemenge, die nothwendig ist, die gleichen Elektricitätsmengen von einander zu sondern. Die Folge davon ist eine Temperaturerhöhung der Berührungsstelle. An der Löthstelle, an welcher eine Verminderung der Potentialdifferenz eintritt, findet eine weitere Scheidung der Elektricitäten statt, und die hiezu nothwendige

Arbeit wird von der Wärme geleistet. Die Folge davon ist eine Temperaturerniedrigung an dieser Stelle. Bei jedem geschlossenen Leiterkreis, in welchem ein Leiter aus anderem Material eingeschaltet ist, entstehen zwei Berührungsstellen, von denen die eine erwärmt, die andere abgekühlt wird, wenn man durch den Kreis einen Strom sendet, da die Metalle an der einen Berührungsstelle in einem Sinne, an der anderen Berührungsstelle im entgegengesetzten Sinne durchflossen werden. Aus Obigem folgt, dass die Richtung eines Thermostromes die ist, in welcher an der Berührungsfläche die Elektricität durch die Wärme getrieben wird.

33. Gesetze der Thermoströme. Um die Gesetze der Thermoströme abzuleiten, denken wir uns einen geschlossenen Leiterkreis aus zwei Stäben bestehend, welche an den Berührungsstellen verlöthet sind. Wir haben also in diesem Kreise zwei Löthstellen. Denken wir uns die eine Löthstelle erwärmt, die andere abgekühlt. Der einen Löthstelle wird also dauernd Wärme zugeführt, der anderen dauernd Wärme entzogen. Die Folge der Erwärmung der einen Löthstelle ist, dass an ihr eine gewisse Potentialdifferenz e_1 erzeugt wird. Durch die Abkühlung der zweiten Löthstelle wird an ihr eine Potentialdifferenz e_2 erzeugt. Diese Potentialdifferenz ist der ersten Potentialdifferenz entgegengesetzt. Nachdem durch die Abkühlung weniger Wärme entzogen, als durch die Erwärmung Wärme zugeführt wird, ist auch die Potentialdifferenz e_2 kleiner als die Potentialdifferenz e_1. In dem Leiterkreise wirkt also eine elektromotorische Kraft $e = e_1 - e_2$. Besitzt der Leiterkreis einen Widerstand R, dann wird in ihm jetzt ein Strom $i = \frac{e}{R}$ fließen. An der erwärmten Löthstelle wird dauernd eine elektrische Arbeit gewonnen $e_1 \, . \, i$ Watt. Diese elektrische Arbeit ist aber äquivalent der in einer Sekunde zugeführten Wärmemenge Q_1. Wir können darum schreiben $Q_1 = k \, . \, e_1 \, . \, i$. Ebenso ist die Wärmemenge Q_2, welche wir in einer Sekunde der zweiten Löthstelle entziehen, äquivalent der an dieser Löthstelle in einer Sekunde erzeugten elektrischen Energie von $e_2 \, . \, i$ Watt. Wir können also auch schreiben $Q_2 = k \, . \, e_2 \, . \, i$. Die in dem Leiter durch den Strom i geleistete Arbeit in einer Sekunde ist der Differenz der Wärmemengen Q_1 und Q_2 äquivalent. Es gilt also die Gleichung:

$$Q_1 - Q_2 = k(e_1 i - e_2 i) = k i (e_1 - e_2) = k \, . \, i \, e.$$

Nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie gilt aber bei einem solchen Vorgange, bei welchem eine gewisse Wärmemenge bei einer bestimmten Temperatur zugeführt und eine gewisse Wärmemenge

bei einer bestimmten Temperatur abgeführt und die Differenz dieser Wärmemengen in mechanische Arbeit umgesetzt wird, die Gleichung:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_2} = \frac{T_1 - T_2}{T_2}.$$

In dieser Gleichung bedeuten T_1 und T_2 die absoluten Temperaturen, bei welchen die Wärmemengen Q_1 und Q_2 zu- und abgeführt werden. Bei uns bedeuten also T_1 und T_2 die absoluten Temperaturen der beiden Löthstellen. Die absolute Temperatur ist bekanntlich die um 273° vermehrte Temperatur in Celsiusgraden. Führen wir in die Gleichung statt Q_1 und Q_2 die Werte $k\,e_1\,i$ und $k\,e_2\,i$ ein, dann lautet die Gleichung nach Kürzung derselben durch die Größe k:

$$\frac{e_1 - e_2}{e_2} = \frac{T_1 - T_2}{T_2}.$$

Stellen wir uns nun vor, die Differenz der Temperaturen der beiden Löthstellen sei unendlich klein: $d\,T = T_1 - T_2$. Dann wird auch die Differenz der elektromotorischen Kräfte e_1 und e_2 unendlich klein sein also $d\,e = e_1 - e_2$. Unsere Gleichung lautet dann:

$$\frac{d\,e}{e_2} = \frac{d\,T}{T_2}.$$

Integrieren wir diese Differentialgleichung, dann erhalten wir:

$$log\,e = log\,T + C.$$

Setzen wir statt der Integrationskonstanten C eine neue, $log\,c$, dann lautet die Gleichung:

$$log\,e = log\,T + log\,c \text{ oder}$$

$$log\,e = log\,(T\,.\,c) \text{ und die Logarithmen entfernt:}$$

$$e = c\,.\,T.$$

Führen wir in diese Gleichung die bei unserem Elemente bestehenden Größen ein, d. h. setzen wir für e die Differenz der an den beiden Löthstellen geweckten elektromotorischen Kräfte $e_1 - e_2$ und für T die Differenz der absoluten Temperaturen an den beiden Löthstellen, $T_1 - T_2$, dann können wir die Gleichung auch schreiben:

$$e = (e_1 - e_2) = c\,(T_1 - T_2).$$

Diese Gleichung ist eine für die Thermoelemente sehr wichtige. Sie lautet in Worten ausgedrückt:

Die elektromotorische Kraft eines Thermoelementes ist der Temperaturdifferenz an den beiden Berührungsstellen proportional.

Leider stimmt diese Gleichung mit den praktischen Erfahrungen nur in wenigen Fällen und da nur innerhalb enger Temperatur-

differenzen überein. Avenarius fand auf experimentellem Wege folgende Gleichung:

$$e = (t_1 - t_2)[a + b(t_1 + t_2)].$$

In dieser Gleichung bedeuten t_1 und t_2 die Celsiustemperaturen der beiden Löthstellen, a und b sind Konstante. Für einige Metalle hat derselbe die Konstanten ermittelt, so dass er die folgenden Gleichungen fand:

für Neusilberstahl $E\text{-Volt} = (t_1 - t_2)[0{\cdot}235 \,.\, 10^{-4} - 0{\cdot}786 \,.\, 10^{-8}(t_1 + t_2)]$,
„ Zinkstahl $E\text{-Volt} = (t_1 - t_2)[0{\cdot}112 \,.\, 10^{-4} - 0{\cdot}252 \,.\, 10^{-7}(t_1 + t_2)]$,
„ Kupferstahl $E\text{-Volt} = (t_1 - t_2)[0{\cdot}117 \,.\, 10^{-4} - 0{\cdot}177 \,.\, 10^{-7}(t_1 + t_2)]$.

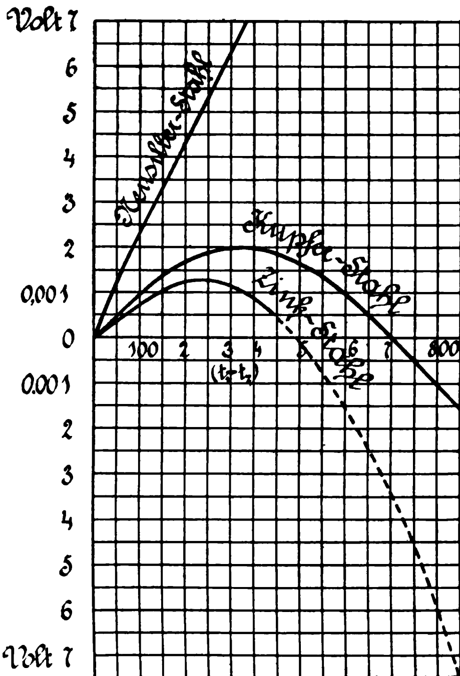


Fig. 38. Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft eines Thermoelementes vor der Temperatursdifferenz.

Stellen wir diese drei Gleichungen graphisch dar, indem wir die Temperaturdifferenzen als Abscissen, die Spannungen als Ordinaten in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eintragen, dann erhalten wir dio in Figur 38 dargestellten Kurven. Bei dieser Darstellung ist in den Gleichungen die Temperatur $t_2 = 0$ gesetzt. Zwei der Kurven sind Parabeln, deren Achsen parallel zur Ordinatenachse sind. Die Kurve für die Kombination Neusilber-Stahl verläuft etwa bei 1500° parallel zur Abscissenachse. Der parabolische Verlauf der Kurven lehrt uns, dass die Spannung nur bis zu einer gewissenGröße der Temperaturdifferenz wächst, von dort ab sinkt die elektromotorische Kraft, ja sie kann sogar das entgegengesetzte Vorzeichen annehmen, was auch beim Kupfer-Stahl-Element versuchsweise bestätigt wurde. Die Temperaturdifferenz, bei welcher der Wechsel des Vorzeichens eintritt, beträgt nach der Rechnung beim Kupfer-Stahlelement 662° beim Zink-Stahlelement 445°. Diese Größen lassen sich aus den Gleichungen von Avenarius leicht finden, indem man in denselben $E = 0$ setzt. E wird 0 wenn $t_1 = t_2$

wird, ein Ergebnis, das selbstverständlich ist, dann aber auch, wenn $a + b\,(t_1 + t_2) = O$. Daraus folgt:

$$t_1 + t_2 = -\frac{a}{b}.$$

Die von uns gefundene Gleichung $e = c\,T$ lässt sich leicht mit der Gleichung von Avenarius in Einklang bringen, wenn wir den Wert c als einen von der Temperatur abhängigen ansehen. Es ist bei der Konstruktion von Thermoelementen ungemein wichtig, den Verlauf der eben betrachteten Kurven für die gewählten Kombinationen zu studieren.

34. Thermoelektrische Spannungsreihe. Wir wollen noch ausführliche Spannungsreihen, die von Seebeck angegeben wurden, mittheilen. Die von verschiedenen Forschern angegebenen Reihen stimmen nicht überein, was daraus leicht erklärlich ist, weil fremde Beimengungen, auch in ganz geringen Mengen, das thermoelektrische Verhalten der untersuchten Körper ändern können. Die von Seebeck aufgestellte Reihe für Metalle lautet:

—	Kupfer käuflich	Silber (rein, aus Chlorsilber reduciert)
Wismut	Messing Nr. 1	Zink
Nickel	Platin Nr. 3	Wolfram
Kobalt	Quecksilber	Platin Nr. 1
Palladium	Blei	Kadmium
Platin (reines)	Zinn	Stahl
Uran	Platin Nr. 2	Eisen (rein)
Kupfer (aus Oxyd) reduciert	Chrom (rein)	Arsen
Mangan	Molybdän	Antimon
Titan	Kupfer käuflich	Tellur.
Messing Nr. 2	Rhodium	+
Dukatengold 6·6 *Ag*, 4·3 *Cu*	Iridium	
	Gold (rein)	

Die von Seebeck für Legierungen aufgestellte Reihe lautet:

—	Kupfer Nr. 2
Wismut	1 Wismut 1 Blei
Blei	Gold Nr. 1
Zinn	Silber
1 Wismut 3 Zink	1 Wismut 1 Zinn
1 Wismut 3 Blei	Zink
Platin Nr. 2	3 Wismut 1 Blei
1 Wismut 3 Zinn	1 Antimon 1 Kupfer

1 Antimon 3 Kupfer	3 Wismut 1 Zinn
1 Antimon 3 Blei; 3 Antimon 1 Blei	1 Wismut 3 Antimon
1 Antimon 3 Zinn; 3 Antimon 1 Zinn	Antimon
Stahl	1 Antimon 1 Zinn
Stabeisen	3 Antimon 1 Zink
	+

Im Folgenden wollen wir noch eine Reihe angeben, aus der man die erzeugten elektromotorischen Kräfte in Mikrovolt $\left(\frac{1}{10^6}\text{ Volt}\right)$ bei 1^0 C. Temperaturdifferenz gegen Blei entnehmen kann. Die Reihe lautet:

Wismut (Draht)	+ 97·0,	Kupfer (käuflich)	— 0·1,
Kobalt	+ 22·0,	Platin	— 0·9,
Nickel	+ 15·0,	Gold	— 1·2,
Neusilber	+ 13·0,	Antimon (rein)	— 2·8,
Quecksilber	+ 0·42,	Silber	— 3·0,
Blei	0,	Zink	— 3·7,
Zinn	— 0·1,	Kupfer (rein)	— 3·8,

Antimon (käuflich)	— 6·0,
Arsen	— 6·0,
Stahl	— 17·5,
Phosphor (roth)	— 29·7,
Tellur	— 502·0,
Selen	— 807·0.

Die Zahlen bedeuten die elektromotorische Kraft in Mikrovolt gegen Blei bei 1^0 C. Temperaturdifferenz. Wählt man z. B. die Kombination Nickel-Antimon, dann beträgt bei einer Temperaturdifferenz von 1^0 C. zwischen den beiden Löthstellen die erzeugte elektromotorische Kraft 28 Mikrovolt.

35. Wirkungsgrad der Thermosäulen. Man hat einen rein elektrischen und einen wirtschaftlichen Wirkungsgrad zu unterscheiden.

Unter dem elektrischen Güteverhältnis versteht man das Verhältnis der Leistung im äußeren Stromkreise zu der elektrischen Gesammtleistung. Der größte elektrische Wirkungsgrad wird dann erhalten, wenn der äußere Widerstand gleich dem inneren Widerstande gemacht wird. Dann wird außen die größtmöglichste Leistung erzielt. Bei Thermosäulen kann man den Betrieb ganz gut so einrichten, weil der Verbrauch an Brennmaterialien der gleiche bleibt, ob man der Säule einen schwachen oder einen starken Strom entnimmt. Bei diesem Betriebe beträgt der elektrische Wirkungsgrad 0·5 das sind 50%.

Unter dem wirtschaftlichen Wirkungsgrad versteht man das Verhältnis der im äußeren Stromkreise geleisteten Arbeit zur gesammten in gleicher Zeit frei werdenden Arbeit bei der Verbrennung des Heizmaterials.

Diesbezüglich wollen wir die Resultate einer Rechnung Kollert's[1]) mittheilen, die auf Grund der Daten einer Gülchersäule angestellt wurde. Die Säule hatte einen inneren Widerstand von 0·48 Ohm, eine elektromotorische Kraft von 4 Volt und verbrauchte stündlich eine Gasmenge von 223 Litern.

Nehmen wir einen äußeren Widerstand an, der ebenso groß ist wie der innere Widerstand, dann erhalten wir eine Gesammtleistung

$$\frac{4^2}{2w} = \frac{16}{2 . 0·48} = 16·68 \text{ Watt.}$$

Die Leistung im äußeren Stromkreise beträgt dann die Hälfte der zuletzt gefundenen Zahl, also 8·34 Watt. Würden wir stündlich statt 223 Liter Gas 1 m^3 Gas verbrauchen, dann betrüge die Gesammtleistung $\frac{16·68 . 1000}{223}$ = 74·8 Watt. Von diesen 74·8 Watt käme wieder die Hälfte, das sind 37·4 Watt, auf Nutzarbeit im äußeren Stromkreise. Rechnen wir, dass dieser m^3 Gas in der Stunde 6400 Kalorien erzeugt, dann kämen auf die Sekunde $\frac{6400}{3600}$ = 1·78 Kalorien. 1 Kalorie ist aber äquivalent 425 *mkg* oder 4167 Watt in der Zeiteinheit. Folglich sind 1·78 Kalorien 7417 Watt äquivalent. Statt 7417 Watt liefert aber die Gülchersche Säule nur 74·8 Watt, also ungefähr 1% dieser Größe. Im äußeren Kreise wird, wie angenommen, die Hälfte dieser Größe geleistet, so dass sich für diese Säule ein wirtschaftliches Güteverhältnis von 0·5% ergibt. Die Hauptursache dieses geringen Güteverhältnisses liegt in dem Umstande, dass bei der Gülchersäule die Wärmeverluste 95·7% betragen. Bei einer Verbesserung der Heizvorrichtung würde sich der Wirkungsgrad jedesfalls bedeutend heben.

VI. Untersuchung und Prüfung von Primärelementen.

36. Allgemeines. Bei den Elementen handelt es sich darum, ihre elektromotorische Kraft und ihren inneren Widerstand zu bestimmen. Weder die eine noch die andere Größe ist eine konstante. Es müssen darum die Elemente auch während der Stromabgabe geprüft werden. Bei diesen Untersuchungen lässt man dieselben bis sie nahezu erschöpft sind, arbeiten. Während man bei Starkstromelementen diesen

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1890.

Punkt bald erreicht, bedarf es hiezu bei Schwachstromelementen monatelanger Untersuchungen.

Was die Methoden zur Ermittlung der elektromotorischen Kräfte von Elementen anbelangt, verweisen wir auf den I. Th. 2. B. S. 82. Betonen wollen wir nur, dass die genaueste und verlässlichste Methode die Kompensationsmethode ist, bei welcher die zu messende elektromotorische Kraft mit der eines Normalelementes verglichen wird.

37. Widerstand der Elemente. Die Aufgabe, den inneren Widerstand von Elementen zu bestimmen, ist eine sehr schwierige, weil sich der innere Widerstand eines Elementes während des Betriebes fortwährend ändert, so dass während einer Untersuchung der innere Widerstand eines Elementes öfters gemessen werden muss. Der innere Widerstand von Elementen lässt sich mit Hilfe der Kohlrausch'schen Telephonbrücke bestimmen. Zu diesem Zwecke werden zwei gleichartige Elemente gegeneinander geschaltet, so dass sich ihre elektromotorischen Kräfte aufheben, und die Elemente keinen Strom abgeben. Mit Hilfe dieser Methode wird der Widerstand der beiden Elemente wie der irgend eines Drahtwiderstandes bestimmt. Um nun den Widerstand jedes einzelnen Elementes zu ermitteln, verfährt man folgendermaßen. Man nimmt ein drittes Element und bestimmt auf die gleiche Weise wie vorhin den Widerstand der Elemente 1 und 2, den Widerstand der Elemente 1 und 3 und schließlich den der Elemente 2 und 3. Aus diesen 3 Widerständen lassen sich leicht die Einzelwiderstände der Elemente rechnen. Es seien die Widerstände der Elemente 1, 2 und 3, beziehungsweise w_1, w_2 und w_3. Die drei Messungen haben ergeben:

$$w_1 + w_2 = a \text{ Ohm} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$
$$w_1 + w_3 = b \quad " \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$
$$w_2 + w_3 = c \quad " \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Aus diesen Gleichungen folgt durch Subtraktion der zweiten Gleichung von der ersten:

$$w_2 - w_3 = b - a \text{ Ohm.}$$

Addieren wir zu dieser Gleichung die Gleichung

$$w_2 + w_3 = c \text{ Ohm, dann erhalten wir:}$$
$$2 w_2 = b - a + c \text{ und}$$
$$w_2 = \frac{b - a + c}{2}.$$

Aus der ersten Gleichung folgt dann:

$$w_1 = a - \frac{b - a + c}{2}$$

und aus der dritten:

$$w_3 = c - \frac{b - a + c}{2}.$$

Die Schwierigkeit dieser Methode liegt darin, die elektromotorischen Kräfte der beiden zusammengeschalteten Elemente derart abzugleichen, dass dieselben einander aufheben.

Eine weit bessere und einfachere Methode ist die folgende:

Man schaltet das Element mit einem bekannten Widerstande R in Serie. Misst man nun mit einem Spannungszeiger, dessen innerer Widerstand ein hoher ist, so dass durch dasselbe ein kleiner, vernachlässigbarer Strom fließt, die Klemmenspannung E_1 des Elementes, dann ist diese, wenn die elektromotorische Kraft des Elementes E ist, gleich $E - IU$. U bedeutet den inneren Widerstand des Elementes, I den Strom im Stromkreise. Nachdem E_1 auch die Spannung an den Endpunkten von R ist, hat I den Wert: $I = \frac{\mathfrak{E}}{R}$.

Die elektromotorische Kraft des Elementes lässt sich auch leicht bestimmen. Wir schalten den Widerstand R aus und messen neuerdings die Klemmenspannung E_0 des Elementes. Bezeichnen wir mit i den Galvanometerstrom, so ist $E_0 = E - i\,U$. Wenn wir den schwachen Strom i, den das Element jetzt liefert, nämlich den durch den Spannungszeiger fließenden, vernachlässigen, dann hat die Klemmenspannung den gleichen Wert wie die elektromotorische Kraft, wir messen also mit dem Spannungszeiger unmittelbar die elektromotorische Kraft d. h. $E_0 = E$, weil $i\,U = 0$ ist. In der Gleichung

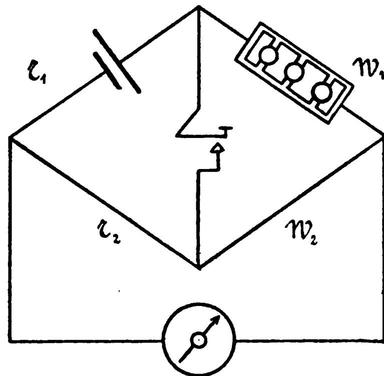


Fig. 39. **Methode Mance zur Messung des Widerstandes eines Elementes.**

$$E_1 = F - IU$$

sind uns nun alle Größen bis auf U bekannt. Aus dieser Gleichung folgt:

$$U = \frac{E - E_1}{I}.$$

Eine andere Methode ist die in Figur 39 dargestellte von Mance. Es ist eine abgeänderte Wheatstone'sche Brückenmethode. Das Element, dessen Widerstand x gemessen werden soll, wird in einen

Zweig der Brücke geschaltet, so dass es hier sowohl als Widerstand, als auch als Stromquelle fungiert. r_1, r_2 und w sind Normalwiderstände. Wie bei der Wheatstone'schen Brücke wird auch hier das Galvanometer in eine Diagonale geschaltet, und zwar verbindet es den Punkt der Brücke, an dem die beiden größeren Widerstände zusammenstoßen mit dem, an welchem die beiden kleinen Widerstände zusammentreffen. In die andere Diagonale wird ein Taster geschaltet. Die Widerstände werden nun so abgeglichen, dass das Galvanometer beim Öffnen und Schließen des Tasters einen konstanten Ausschlag gibt. Nachdem die ganze Schaltung eine Stromverzweigung darstellt, beweist das Eintreten dieser Erscheinung, dass in diesem Augenblicke der Draht, in welchem der Taster liegt, stromlos ist, denn nur dann kann ein Öffnen oder Schließen dieses Drahtes die Stromverhältnisse im übrigen Stromkreise nicht ändern, das Galvanometer gibt konstanten Ausschlag. Der stromloswerdende Tasterdraht übernimmt hier die Funktion des Galvanometerdrahtes bei der gewöhnlichen Wheatstone'schen Brücke. Wie bei dieser gilt auch hier die Gleichung:

$$\frac{x}{w} = \frac{r_1}{r_2}, \text{ woraus folgt:}$$

$$x = \frac{r_1}{r_2} \cdot w.$$

Es wurden noch eine Reihe anderer Methoden angegeben. (I. Th. 2. B. S. 81.)

38. Wirkungsgrad der Elemente. Eine weitere Aufgabe bei der Prüfung von Elementen ist die Bestimmung des Wirkungsgrades. Man versteht darunter das Verhältnis der vom Elemente im äußeren Stromkreise geleisteten Arbeit zu der im Elemente gleichzeitig infolge der chemischen Vorgänge frei werdenden Arbeit. Dieser Wirkungsgrad lässt sich leicht bestimmen.

39. Kosten der Elemente. Wichtiger als diese Untersuchung ist die der Kosten, welche das Element bei Leistung von Arbeit verursacht. Je geringer die Kosten bei gleicher Arbeitsleistung sind, desto besser ist ein Element. Alle Untersuchungen haben ergeben, dass kein einziges Element so billig den Strom liefert, wie eine elektrische Maschine. Früher wurde die Leistung eines Elementes gewöhnlich durch die Anzahl der Ampèrestunden angegeben, die es zu liefern imstande war, also wie bei Akkumulatoren. Diese Art der Bestimmung der Leistung eines Elementes ist jedoch keine richtige, nachdem bei Elementen die Klemmenspannung, bei welcher Strom ent-

nommen wird, zwischen relativ viel weiteren Grenzen schwankt als bei den Akkumulatoren, so dass es besser ist, die Leistung eines Elementes in Wattstunden anzugeben, das ist das Produkt aus Ampèrestunden und Klemmenspannung, bei welcher dieses specielle Element den Strom liefert.

40. Rein elektrischer Wirkungsgrad. Das rein elektrische Güteverhältnis wird auf folgende Weise bestimmt. Ist ein Element durch einen äußeren Widerstand W geschlossen, dann fließt der vom Elemente gelieferte Strom I sowohl durch diesen Widerstand als auch durch den inneren Widerstand des Elementes U. Man bezeichnet nun als elektrischen Wirkungsgrad das Verhältnis der vom Strome im äußern Kreise geleisteten Arbeit zur Arbeit, welche der Strom im gesammten Kreise leistet. Die erstere Arbeit ist nun $I^2 W$, die letztere $I^2(W + U)$. Demnach lautet die Gleichung für den Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{I^2 W}{I^2(W + U)} = \frac{W}{W + U}.$$

Aus dieser Gleichung können wir leicht entnehmen, dass bei einem Starkstromelement, bei welchem also W verhältnismäßig klein ist, U, der innere Widerstand des Elementes, klein sein muss, damit der Wirkungsgrad ein günstiger sei. Bei einem Schwachstromelement ist W groß, so dass auch U groß sein kann, ohne dass dadurch der Wirkungsgrad des Elementes ein schlechterer wird. Der Versuch wird gewöhnlich so angestellt, dass man das Element durch einen äußeren Widerstand schließt. Nun liest man, wie früher schon angegeben, in kürzeren Zwischenzeiten, im Anfange etwa alle Minuten, die Klemmenspannung des Elementes ab. Nachdem man sich für alle Klemmenspannungen die gelieferte Stromstärke gerechnet und auch die elektromotorische Kraft bestimmt hat, werden Kurven verzeichnet und in ein Koordinatensystem eingetragen, dessen Abscissen die Zeit und dessen Ordinaten einmal die Spannung und ein andermal die Stromstärke angeben. Im Anfange der Untersuchung fällt sowohl E als auch $\mathfrak{E}$ ziemlich rasch. In dieser Periode der Untersuchung müssen darum die Ablesungen rascher aufeinanderfolgen. Später werden diese Größen und auch die Stromstärke ziemlich konstant, so dass es genügt, alle 5, 10, 20, oder 60′ abzulesen. Gegen den Schluss der Entladung müssen wieder häufiger Ablesungen gemacht werden. Je größer die Stromstärke ist, desto kleiner ist die Leistung des Elementes. Die Ursache dieser Erscheinung besteht darin, dass der Depolarisator bei großer Stromstärke keine vollständige Wirkung ausüben kann, so dass eine Polarisation eintritt und infolge dessen eine Abnahme der Leistung.

41. Verbrauch an Material. Nachdem diese Untersuchung beendet ist, wird noch der Verbrauch an Material der Lösungselektrode, des Elektrolyten und des Depolarisators bestimmt. Unter der Lösungselektrode versteht man jene Elektrode, deren Material während der im Elemente vor sich gehenden chemischen Verfahren in die Lösung übergeht.

42. Untersuchung der Elemente. Schwachstromelemente werden am besten so erprobt, dass man sie in praktische Verwendung nimmt und während dieser Zeit Versuchsreihen aufnimmt.

Ein kürzeres aber mangelhaftes Verfahren zur Prüfung von Schwachstromelementen verwendet die englische Postverwaltung. Das zu untersuchende Element wird mit einem Widerstande von 10 Ohm geschlossen und die Zeit beobachtet, während welcher die Stromstärke auf die Hälfte ihres Anfangswertes sinkt. Diese Methode ist nur verlässlich zur Prüfung gleichartiger Elemente, denn sie lässt bei der Prüfung verschiedenartiger Elemente den Umstand außer Betracht, dass die Elektrodenoberfläche der verschiedenen Elemente verschieden groß ist. Ein Element, das kleinere Elektroden besitzt, wird den oben gekennzeichneten Endzustand früher erreichen als ein Element mit größeren Elektroden. Die Methode wäre einwandfrei, wenn sie die Stromdichte berücksichtigen würde.

VII. Prüfung von Thermoelementen und Thermosäulen.

43. Vorgang. Die Prüfung der Thermoelemente erfolgt ähnlich wie jene der anderer Primärelemente. Man bestimmt die elektromotorische Kraft, den inneren Widerstand, die Polarisation und das wirtschaftliche Güteverhältnis. Die elektromotorische Kraft wächst mit dem Gasdruck und ist der verwendeten Gasmenge proportional.

44. Versuchsresultate. Die meisten Versuchsresultate liegen über die Gülchersäule vor. Mit der Zeit steigt der innere Widerstand einer solchen Säule. Mit der Zunahme der Stromstärke sinkt die elektromotorische Kraft proportional, weil durch den Strom die Temperaturunterschiede an den Löthstellen der Säule ermäßigt werden. Die elektromotorische Kraft einer Säule ist umso konstanter, unter je konstanterem Druck die Gaszufuhr zur Säule erfolgt, darum wird auch beim Betriebe solcher Säulen ein Druckregulator in die Gasleitung eingeschaltet. Eine solcher Druckregulator rührt z. B. von H. Daneel her, bei dessen Verwendung die elektromotorische Kraft der Säule nur um Bruchtheile eines Procentes schwankt.

VIII. Schaltung der Elemente.

45. Hintereinanderschaltung der Elemente. Um größere Wirkungen zu erzielen, werden die Elemente zu Batterien vereinigt. Wir wollen nun Schaltungen von Elementen besprechen. Eine sehr einfache Schaltung ist die Hintereinanderschaltung. Denken wir uns, wir hätten eine Anzahl von Elementen, von denen jedes eine elektromotorische Kraft E und einen inneren Widerstand U besitzt. Verbinden wir diese Elemente derart mit einander, wie es die Figuren 40 und 41 zeigen, so dass wir je einen negativen Pol eines Elementes mit dem positiven Pol eines folgenden Elementes verbinden, dann erhalten wir eine Elementenreihe, zwischen deren freien Endpolen + und —, wenn die Reihe aus n Elementen besteht, eine Spannungt $n\,E$

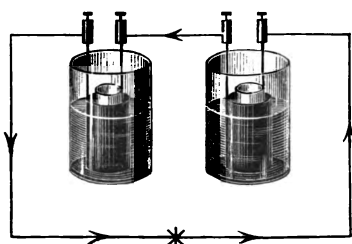


Fig. 40. Zwei Daniell'sche Elemente in Hintereinanderschaltung.

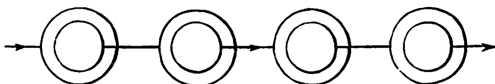


Fig. 41. Elemente in Hintereinanderschaltung.

herrscht. Denken wir uns die freien Pole durch einen äußeren Widerstand W verbunden, dann wird in dem Stromkreise ein Strom fließen:

$$I = \frac{n\,E}{n\,U + W} \quad . \; . \; . \; . \; 1).,$$

was aus dem Ohm'schen Gesetze folgt, denn die gesammte im Kreise wirkende elektromotorische Kraft ist $n\,E$, n mal so groß, als die elektromotorische Kraft eines Elementes, und der gesammte Widerstand, durch den der Strom fließt, beträgt $n\,U + W$, n mal der innere Widerstand eines Elementes vermehrt um den äußeren Widerstand, welche Widerstände sämmtlich hintereinander geschaltet sind. Aus der Gleichung 1 folgt:

$$I(n\,U + W) = n\,E \text{ und}$$
$$n\,E - I\,n\,U = IW.$$

$I\,n\,U$ bedeutet den Spannungsverlust innerhalb der Elementenreihe bis zu den Klemmen der Batterie, wenn durch den Kreis der Strom I fließt. $n\,E - I\,n\,U$ ist demnach die Klemmenspannung E_1 der Batterie bei dieser Schaltung. Wir können darum die letzte Gleichung auch so schreiben:

$$E_1 = I\,W \text{ oder}$$
$$I = \frac{E_1}{W} \quad . \; . \; . \; . \; 2).$$

Beispiele: 1. Denken wir uns, wir hätten 30 Elemente, deren jedes eine elektromotorische Kraft $E = 1{\cdot}5$ Volt und einen innern Widerstand $U = 2$ Ohm besitzt, hintereinandergeschaltet. Die elektromotorische Kraft E_1 der Batterie wird $30 \,.\, 1{\cdot}5 = 45$ Volt betragen.

Schließen wir die Batterie durch einen Widerstand $W = 5$ Ohm, dann wird in dem Kreise ein Strom fließen $I = \frac{45}{30 \,.\, 2 + 5} = \frac{45}{65} = 0{\cdot}6923$ Ampère. Die Klemmenspannung der Batterie wird hiebei betragen $E_1 = 45 - 0{\cdot}6923.30.2 = 45 - 41{\cdot}538 = 3{\cdot}462$ Volt. Nach Gleichung 2 ist der Strom $I = \frac{E_1}{W}$. Führen wir diese Gleichung aus, dann erhalten wir $I = \frac{3{\cdot}462}{5} = 0{\cdot}692$ Ampère, welche Größe mit der oben für I bestimmten übereinstimmt.

2. Rechnen wir die nöthige Anzahl von Elementen der oben gekennzeichneten Art, um in einem Schließungswiderstande von 1 Ohm einen Strom von 0·5 Ampère zu erhalten.

Zu dieser Bestimmung dient uns die Gleichung 1). Setzen wir in diese Gleichung die gegebenen Größen ein, dann erhalten wir $0{\cdot}5 = \frac{n \,.\, 1{\cdot}5}{n \,.\, 2 + 1}$. Aus dieser Gleichung folgt $n = 1$, also benöthigt man 1 Element.

Die Hintereinanderschaltung wird dann mit Vortheil angewendet, wenn der äußere Widerstand groß ist, weil wir dann eine große elektromotorische Kraft brauchen, um den Widerstand zu überwinden.

46. Parallelschaltung der Elemente. Bei kleinem äußeren Widerstande verwendet man mit Vortheil die Parallelschaltung der Elemente, wie es die Figur 42 zeigt. Bei dieser Schaltung sind

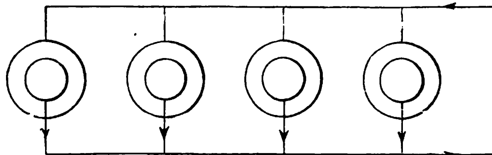


Fig. 42. Elemente in Nebeneinanderschaltung.

alle positiven und alle negativen Pole der Elemente untereinander verbunden. Die elektromotorische Kraft einer solchen Batterie ist nur so groß, wie die elektrische Kraft eines Elementes. Der innere Widerstand der Batterie ist jedoch, wenn wir n Elemente parallel schalten, n mal so klein, als der innere Widerstand eines Elementes, weil dem im Kreise fließenden Strome bei seinem Durchgange durch die Elemente n Wege gleichzeitig zur Verfügung stehen, von denen jeder den Widerstand eines Elementes besitzt. Schließen wir also die Batterie durch einen äußeren Widerstand W, dann fließt im Schließungskreise ein Strom:

$$I = \frac{E_2}{\frac{U}{n} + W} \quad \ldots\ldots \quad 3).$$

Diese Formel entspricht wieder dem Ohm'schen Gesetze. Die elektromotorische Kraft der Batterie beträgt E_2, der innere Widerstand der Batterie $\frac{U}{n}$ (der $n$te Theil des innern Widerstandes eines Elementes), und W ist der äußere Widerstand. Aus dieser Gleichung folgt:

$$I\left(\frac{U}{n}+W\right)=E_2 \text{ und}$$

$$E_2 - I\frac{U}{n} = IW.$$

$I\frac{U}{n}$ ist die Größe des Spannungsverlustes innerhalb der Batterie, wenn durch dieselbe der Strom I fließt. $E - I\frac{U}{n}$ bedeutet demnach E_2, die Klemmenspannung der Batterie. Wir können darum auch schreiben:

$$E_2 = IW \text{ oder}$$

$$I = \frac{E_2}{W} \quad \ldots\ldots \quad 4).$$

Beispiel: Wie groß ist die Stromstärke in einem Stromkreise, der aus 20 parallel geschalteten Elementen besteht, deren jedes eine elektromotorische Kraft von 1·5 Volt und einen innern Widerstand von 2 Ohm besitzt, und welcher Stromkreis noch durch einen äußeren Widerstand von 2 Ohm gebildet wird?

Aus Gleichung 3 folgt: $I = \frac{1{\cdot}5}{\frac{2}{20}+2} \backsim 0{\cdot}7$ Ampère. Die Klemmenspannung der Batterie beträgt, $E_2 = 1{\cdot}5 - 0{\cdot}7 . \frac{2}{20} = 1{\cdot}43$ Ohm. Bestimmen wir die Stromstärke auch mit Hilfe der Gleichung 4, dann haben wir:

$$I = \frac{E_2}{W} = \frac{1{\cdot}43}{2} \backsim 0{\cdot}7 \text{ Ampère.}$$

47. Gemischte Schaltung der Elemente. Eine andere Art von Schaltung ist die gemischte Schaltung oder Gruppenschaltung. Diese Schaltung wird dann angewendet, wenn der äußere Widerstand im Verhältnis zum innern Widerstande weder groß noch klein ist. Diese Schaltung kann so ausgeführt werden, wie es die Figuren 43 und 44 zeigen. In der Figur 43 sind 2 Gruppen von Elementen hintereinander geschaltet, wobei jede Gruppe aus 2 parallel geschalteten Elementen besteht. In der Figur 44 sind 2 Gruppen von Elementen parallel geschaltet, wobei jede Gruppe aus 2 hintereinander geschalteten Elementen besteht. Nehmen wir allgemein an, es seien in beiden Fällen m Gruppen geschaltet, jede Gruppe aus n Elementen bestehend. Die elektromotorische Kraft eines Elementes sei E. Wir wollen nun die elektromotorischen Kräfte der in den Figuren 43 und

44 dargestellten Batterien rechnen. In der Gruppenschaltung Figur 43 besitzt jede Gruppe, nachdem sie aus parallel geschalteten Elementen besteht, eine elektromotorische Kraft, welche gleich ist der elektromotorischen Kraft eines Elementes, also gleich E. Nachdem bei der vorliegenden Schaltung m solcher Gruppen hintereinander geschaltet sind, beträgt die elektromotorische Kraft der Batterie $m\,E$ Volt. Bei der Batterie Figur 44 besteht jede Gruppe aus n hintereinander geschalteten Elementen. Eine solche besitzt also eine elektromotorische Kraft von $n\,E$ Volt. Nachdem die Batterie aus m parallel geschalteten Gruppen dieser Art besteht, beträgt auch die elektromotorische Kraft der Batterie $n\,E$ Volt. Denken wir uns beide Batterien je durch einen Widerstand

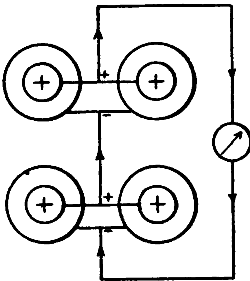


Fig. 43.
Elemente in Neben-Hintereinanderschaltung.

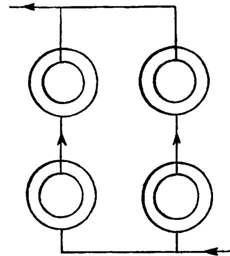


Fig. 44.
Elemente in Hinter-Nebeneinanderschaltung.

von der Größe W geschlossen, und fragen wir nach dem Strome, der in beiden Fällen durch den Stromkreis fließt. Bei der ersten Batterie haben wir zu schreiben:

$$I = \frac{m\,E}{m\,.\,\frac{U}{n} + W} \;\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;\; 5).$$

U bedeutet den inneren Widerstand eines Elementes, $m\,.\,\frac{U}{n}$ den Widerstand der Batterie, denn er besteht aus dem m-fachen Widerstande einer Gruppe, und dieser beträgt $\frac{U}{n}$, nachdem die Gruppe aus n parallel geschalteten Widerständen U besteht. Aus Gleichung 5 folgt:

$$I\left(m\frac{U}{n} + W\right) = m\,E \quad \text{oder}$$

$$I\,m\frac{U}{n} + I\,W = m\,E \quad \text{nnd}$$

$$m\,E - I\,m\frac{U}{n} = I\,W.$$

$I m \frac{U}{n}$ bedeutet den Spannungsverlust innerhalb der Batterie, wenn dieselbe von dem Strome I durchflossen wird. $m E - I m \frac{U}{n}$ ist demnach die Klemmenspannung E_3 der Batterie. Wir können darum auch schreiben:

$$I = \frac{E_3}{W} \quad \ldots\ldots\ 6).$$

Bei der Batterie Figur 44, haben wir zu schreiben:

$$I = \frac{n E}{\frac{n U}{m} + W} \quad \ldots\ldots\ 7).$$

$\frac{n U}{m}$ ist der innere Widerstand der Batterie. $n U$ ist nämlich der Widerstand einer Gruppe, der aus n hintereinander geschalteten Widerständen U besteht, $\frac{n U}{m}$ der Widerstand der Batterie, der aus m parallel geschalteten Widerständen $n U$ besteht. Aus der Gleichung 7 folgt:

$$I\left(\frac{n U}{m} + W\right) = n E, \text{ also}$$

$$I \frac{n U}{m} + I W = n E \text{ und}$$

$$n E - I \frac{n U}{m} = I W.$$

$n E - I \frac{n U}{m}$ ist wieder die Klemmenspannung E_4 der Batterie, nachdem $I \frac{n U}{m}$ der Spannungsverlust innerhalb der Batterie ist, wenn dieselbe vom Strome I durchflossen wird. Wir können also auch hier schreiben:

$$I = \frac{E_4}{W} \quad \ldots\ldots\ 8).$$

Beispiele: 1. Wie groß ist die elektromotorische Kraft einer Batterie, welche aus drei Gruppen von je drei Elementen besteht. Die Elemente einer Gruppe sind parallel, die Gruppen hintereinander geschaltet. Ein Element besitze eine elektromotorische Kraft $E = 1{\cdot}5$ Volt, der innere Widerstand desselben betrage 2 Ohm. Der innere Widerstand einer Gruppe ist demnach $\frac{2}{3}$ Ohm, der innere Widerstand der Batterie $3 . \frac{2}{3}$ Ohm $= 2$ Ohm. Die elektromotorische Kraft einer Gruppe beträgt 1·5 Volt, die elektromotorische Kraft der Batterie $3 . 1{\cdot}5$ Volt $= 4{\cdot}5$ Volt. Denken wir uns die Batterie durch einen äußeren Widerstand von 3 Ohm geschlossen, dann beträgt die Stromstärke $I = \frac{4{\cdot}5}{2 + 3} = 0{\cdot}9$ Ampère.

2. Eine Batterie, die aus drei parallel geschalteten Gruppen von je drei hintereinander geschalteten Elementen der gleichen Art, wie oben angegeben, besteht, wird ebenfalls durch einen äußeren Widerstand von 3 Ohm geschlossen. Wie groß sind in diesem Falle die Stromstärke, die elektromotorische Kraft und der innere Widerstand der Batterie?

Die elektromotorische Kraft der Batterie beträgt $3 \cdot 1{\cdot}5$ Volt $= 4{\cdot}5$ Volt, der innere Widerstand $\frac{3 \cdot 2}{3} = 2$ Ohm und die Stromstärke $I = \frac{4{\cdot}5}{2 + 3} = 0{\cdot}9$ Ampère. Die beiden Schaltungen sind also gleichwertig.

Man kann leicht zeigen, dass bei gegebenem äußeren Widerstande und gegebener Anzahl von Elementen die größte Stromstärke dann erreicht wird, wenn der innere Widerstand der Batterie gleich dem äußeren Widerstande wird. In diesem Fälle ist die Klemmenspannung der Batterie gleich der halben elektromotorischen Kraft, denn $E - I\,U = I\,W$. Nachdem $U = W$, lautet die Gleichung auch $E - I\,W = I\,W$. Daraus folgt $E = 2\,IW = E$ und $E = I\,W = \frac{E}{2}$.

Bei Schaltung Figur 43 muss also die Gleichung bestehen:

$W = m\,\frac{U}{W}$, woraus folgt $\frac{W}{U} = \frac{m}{n}$, was in Worten ausgedrückt heißt:

Die geie erte Stromstärke ist dann am größten, wenn sich der äußere Widerstand zum inneren Widerstand eines Elementes wie die Zahl der hintereinander ge-schalteten Gruppen zur Zahl der in einer Gruppe parallel geschalteten Elemente verhält.

Die Gesammtzahl der Elemente, welche die Batterie zusammensetzen, ist $m \cdot n = N$. Multiplicieren wir diese Gleichung mit der Gleichung $\frac{W}{U} = \frac{m}{n}$, dann erhalten wir die Gleichung $m^2 = \frac{W \cdot N}{U}$, aus welcher die Gleichung folgt:

$$m = \sqrt{\frac{W\,N}{U}}.$$

Dividieren wir die beiden Gleichungen durch einander, dann erhalten wir $n^2 = \frac{U\,N}{W}$. Aus dieser Gleichung folgt:

$$n = \sqrt{\frac{U\,N}{W}}.$$

Bei der Schaltung Figur 44 gilt die Gleichung $W = n\,\frac{U}{m}$. Führten wir für diese Bedingung eine ähnliche Entwicklung durch, wie für den vorigen Fall, dann würden wir erhalten:

$$n = \sqrt{\frac{WN}{U}} \text{ und}$$

$$m = \sqrt{\frac{UN}{W}}$$

nachdem in diesem Falle die Gleichungen bestehen:

$$W = \frac{nU}{m} \text{ und } \frac{W}{U} = \frac{n}{m}.$$

Beispiele. 1. Für die Schaltung von 6 Elementen nach Figur 43 erhalten wir laut vorangehender Entwicklung, wenn der äußere Widerstand 3 Ohm beträgt, für $m = \sqrt{\frac{3.6}{2}} = \sqrt{9} = 3$ und für $n = \sqrt{\frac{2.6}{3}} = \sqrt{4} = 2$. Der Strom wird dann

$$I = \frac{3 . 1 \cdot 5}{6} = 0 \cdot 75 \text{ Ampère.}$$

2. Für die Schaltung von 6 Elementen nach Figur 43 bekommen wir, wenn der äußere Widerstand 3 Ohm beträgt, für

$$m = \sqrt{\frac{2.6}{3}} = \sqrt{4} = 2 \text{ und für } n = \sqrt{\frac{3.6}{2}} = \sqrt{9} = 3.$$

In diesem Falle beträgt der Strom $I = \frac{3 . 1 \cdot 5}{6} = 0 \cdot 75$ Ampère, er ist also ebenso groß wie im vorigen Beispiel.

Liefern die Gleichungen für m und n keine ganzen Zahlen, dann werden die erhaltenen Größen selbstverständlich auf die zunächst liegenden ganzen Zahlen abgerundet.

Die gewöhnlich vorliegende Aufgabe bei der Schaltung von Elementen lautet:

Wie groß ist die kleinste nothwendige Anzahl von Elementen, um in einem gegebenen äußeren Widerstande eine bestimmte Stromstärke zu erzeugen?

Für die günstigste Schaltung fanden wir die Bedingung, dass die Klemmenspannung der Batterie im stromdurchflossenen Zustande halb so groß ist wie die elektromotorische Kraft der Batterie. Werden m Gruppen hintereinandergeschaltet, von denen jede eine elektromotorische Kraft von E Volt besitzt, dann hat die Batterie eine elektromotorische Kraft von mE Volt. Die Klemmenspannung muss also $\frac{mE}{2}$ Volt betragen. Andererseits ist aber die Klemmenspannung, wenn der Strom I und der äußere Widerstand W beträgt, auch gleich IW. Es besteht also die Gleichung:

$$\frac{mE}{2} = IW.$$

Aus dieser Gleichung folgt $m = \frac{2\,IW}{E}$. Nachdem bei der angenommenen Schaltung unter der Bedingung der günstigsten Schaltung auch die Gleichung bestehen muss $n = m \cdot \frac{U}{W}$, ist $n = \frac{2 \cdot IW}{E} \cdot \frac{U}{W} = = \frac{2\,IU}{E}$. Folglich ist $N = m \cdot n = \frac{2 \cdot IW}{E} \cdot \frac{2\,IU}{E} = \frac{4\,I^2\,WU}{E^2}$.

Beispiel. Wie groß ist die nothwendige Anzahl von Elementen der im früheren bezeichneten Art, um in einem äußeren Widerstande von 2·25 Ohm einen Strom von 1 Ampère zu erzeugen?

Setzen wir in die Formel $N = \frac{4\,I^2\,WU}{E^2}$ die bekannten Größen ein, dann erhalten wir $N = \frac{4 \cdot 1 \cdot 2{\cdot}25 \cdot 2}{2{\cdot}25} = 8$. Rechnen wir noch die Größen m und n, dann haben wir: $m = \frac{2\,IW}{E} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 2\;25}{1{\cdot}5} = 3$ und $n = \frac{N}{m} = \frac{8}{3} = 2{\cdot}6 \infty 3$, so dass wir in Wirklichkeit statt 8, 9 Elemente verwenden werden.

48. Gegeneinanderschaltung der Elemente. Schaltet man zwei Elemente, sowie es Fig. 45 zeigt, gegeneinander, so heben sich die elektromotorischen Kräfte beziehungsweise Klemmenspannungen derselben theilweise oder gänzlich auf, je nachdem dieselben einander gleich groß oder von einander verschieden sind.

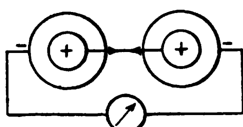


Fig. 45. Elemente in Gegeneinanderschaltung.

Wenn V_1 = Klemmenspannung des 1. Elementes,
V_2 = Klemmenspannung des 2. Elementes
und V = Resultierende Klemmenspannung beider Elemente,
so muss

$$V = V_1 - V_2 \text{ sein.}$$

Beispiel: Die Klemmenspannung des 1. Elementes V_1 sei gleich 1·5 Volt, die Klemmenspannung des 2. Elementes V_2 sei gleich 1 3 Volt; wie groß ist die resultierende Spannung, welche das in Fig. 45 eingeschaltete Galvanometer anzeigt?

Nach obigem ist $V = V_1 - V_2 = 1{\cdot}5 - 1{\cdot}3 = 0{\cdot}2$ Volt.

Ergiebt sich V_2 größer als V_1, dann folgt aus der Gleichung $V = V_1 - V_2$ für V ein negativer Wert, d. h. die resultierende Klemmenspannung V hat die entgegengesetzte Richtung als im Falle eines positiven Wertes von V.

Sind die beiden Klemmenspannungen V_1 und V_2 einander gleich, so ist $V = 0$.

Die Gegeneinanderschaltung wird insbesondere in der Messtechnik verwendet. Schaltet man zwei Elemente, welche annähernd gleiche Klemmenspannungen besitzen gegeneinander, so kann man denselben nur geringe Stromstärken entnehmen, so dass dieselben kurze Zeit konstant bleiben und dadurch genaue Messungen ermöglichen. (I. Th. 2. B. S. 83.)

Außer nach den besprochenen Methoden, können die Elemente in mancherlei anderen Arten geschaltet werden, etwa so, dass die einzelnen Gruppen eine verschiedene Zahl von Elementen besitzen.

III. Kapitel.

Akkumulatoren (Sammler.)

I. Grundlehren.

49. Wesen. Die Sammler der gegenwärtigen elektrotechnischen Industrie bestehen zumeist aus Bleielektroden (Bleiplatten), welche in verdünnter Schwefelsäure stehen.

Eine Reihe mit einander verbundener positiver oder negativer Elektroden bilden einen Elektrodensatz. Eine in einem Gefäße mit wechselnden Polen angebrachte, hintereinander geschaltete Reihe von Elektroden nennt man eine Zelle (Sekundäres Element); eine Reihe von Zellen heißt Sammler (Ladungssäule, Akkumulator, Sekundärbatterie).

Die metallischen Elektroden dienen zur Leitung, die aktive Masse zur Ansammlung des Stromes.

Schickt man in den Sammler Strom, so wird die elektrische Arbeit desselben in chemische umgesetzt. Der Strom leitet in dem Sammler einen chemischen Vorgang ein, dessen Energie längere Zeit aufgespeicher werden kann. Schließt man die Elektroden durch einen Stromkreis, so tritt ein entgegengesetzter chemischer Vorgang (chemische Rückbildung) mit einer gleichzeitigen entgegengesetzten Elektricitätsströmung ein.

Zwei Bleielektroden, welche in verdünnter Schwefelsäure stehen, stellen wesentlich den ersten Blei-Sammler von Gaston Planté (1859) dar. Wird dieser Sammler in eine Elektricitätsquelle eingeschaltet, so bildet sich an der Oberfläche der positiven (braunen) Elektrode Bleisuperoxyd, während sich an der negativen (grauen) Elektrode Wasserstoff entwickelt. Nachdem der Sammler längere Zeit vom Strom durchflossen war, erhält er die Eigenschaft, nach Stromunterbrechung einen Entladestrom, der dem Ladestrome entgegengesetzt gerichtet ist, abzugeben.

Der Sammler wird durch die elektrische Ladung ein primäres Element. Das Bleisuperoxyd stellt die positive, das metallische Blei die negative Elektrode und die Schwefelsäure die Flüssigkeit dar.

Da die Elektroden durch den Entladestrom Pole annehmen, nennt man sie polarisiert und den Entladestrom einen Polarisationsstrom.

Beim Entladen verwandelt sich an der positiven Elektrode das Bleisuperoxyd in Bleioxyd und dieses vereinigt sich, sowie das Blei der negativen Elektrode, mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Blei. Wird nun der Sammler wieder geladen, so bildet sich auf der positiven Elektrode abermals Bleisuperoxyd, während das schwefelsaure Blei der negativen Elektrode abermals in Blei übergeht. Das auf der positiven Elektrode gebildete Bleisuperoxyd, und das auf der negativen Elekrode angesammelte Blei bilden die sogenannte aktive Masse des Sammlers. Je mehr aktive Masse vorhanden ist, desto größer wird die Aufspeicherungsfähigkeit (Aufnahmefähigkeit, Ansammlungsfähigkeit, Kapacität) des Sammlers.

Die aktive Masse bildet sich durch häufiges Laden und Entladen (Formieren).

Der Sammler von Planté bedingt eine lang andauernde Formierung, da die Bleisuperoxydbildung bei rein metalischen Bleielektroden sehr langsam vor sich geht. Diesen Übelstand beseitigte Camillo Faure (1881) dadurch, dass er das Bleisuperoxyd, dass sich bei Planté erst nach der Ladung bildet, schon beim Aufbau der Zellen auf die negative Elektrode in Form der billigen Mennige (einer Verbindung von Bleioxyd und Bleisuperoxyd) aufstrich.

Das poröse schwammige Blei der negativen Elektrode wird vorwiegend durch das Auftragen von Bleiglätte (Bleioxyd), seltener durch Mennige erzeugt.

Der Tudor'sche Sammler (1884) vereinigt die bei den Sammlern nach Planté und Faure angewendeten Verfahren. Die positiven Elektroden werden zunächst Monate lang ohne Füllmasse geladen und entladen (Planté), dann mit einer Füllmasse versehen kurze Zeit geladen (Faure).

50. Konstruktion. Die Elektroden werden zumeist aus reinem Blei in Messing- oder Eisenformen gegossen. Die Form der Platten ist vorwiegend rechteckig oder quadratisch. Die Oberfläche der Platten enthält Öffnungen, Vertiefungen, Rinnen u. dgl., welche zur Aufnahme der Füllmasse geeignet erscheinen. Nachdem in diese Platten die mit Schwefelsäure angefeuchtete Füllmasse eingetragen worden ist, erfolgt

die Formierung derselben. Die formierten Platten werden sodann in der Regel in senkrechter Stellung in ein prismatisches Gefäß aus Glas, Steingut, Hartgummi, präpariertem Papier, getränktem oder mit Blei ausgekleidetem Holze in verdünnte Schwefelsäure gestellt. Die Pole der nebeneinander stehenden Platten wechseln ihre Zeichen. Die Endplatten einer Zelle sind gewöhnlich negativ, so dass die Zelle in der Regel eine negative Platte mehr enthält als positive Platten. Sämmtliche negative und positive Elektroden sind miteinander durch einen Leiter zu einem gemeinsamen positiven und einem gemeinsamen negativen Pole verbunden. Die einzelnen positiven und negativen Elektroden sind voneinander durch Kautschuk, Hartgummi, Ebonit, Glas, Holz u. s. w. isoliert, Von besonderer Wichtigkeit ist es, dass die aus den Platten herausfallende Füllmasse keinen Schluss zwischen den positiven und negativen Platten bildet. Man erreicht diesen Zweck vornehmlich durch eine geeignete Konstruktion der Platten, durch Aufstellung derselben auf die scharfen Kanten prismatischer Isolatoren oder durch ihre Aufhängung. Das Aufstellen beider Elektroden auf den Boden des Gefäßes ist unzulässig, da bei dieser Anordnung Schlüsse durch die herabfallende Füllmasse unvermeidlich sind. Für die Ausdehnung der aktiven Masse muss Raum vorhanden sein. Das Verziehen und Werfen der Elektroden weist auf eine unrichtige Konstruktion derselben hin. Die Verbindung der einzelnen Elektroden, Elektrodensätze und Zellen untereinander geschieht am zweckmäßigsten durch Löthung mit reinem Blei bei Benützung eines Wasserstoffgebläses. Sobald die Elektrodensätse in dem Gefäße aufgebaut sind, wird dasselbe mit verdünnter Schwefelsäure von 18·8 Grad Beaumé bei 20° C. (1·147 Dichte, 20·3% reine Schwefelsäure) soweit ausgefüllt, dass die Elektroden vollständig in die Säure eingetaucht erscheinen. Das Nachfüllen der Zellen geschieht mit einer Säure von höchstens 4 Grad Beaumé. Die Schwefelsäure muss rein sein. Besonders schädlich sind Beimengungen von Arsen, Salpeter- oder Salzsäure. Das Wasser muss kalkfrei sein. Brunnenwasser ist vorher abzukochen. Am besten eignen sich destilliertes und Regenwasser. Man gießt die Säure zum Wasser und nicht umgekehrt das Wasser zur Säure, weil sonst ein heftiges Aufspritzen der Mischung erfolgt. Beim Mischen des Wassers mit Schwefelsäure wird Wärme erzeugt. Wenn n = Aräometergrade, s = specifisches Gewicht, dann gilt für Flüssigkeiten, welche schwerer sind als das Wasser bei 4° C, also z. B. für verdünnte Schwefelsäure die Formel:

$$s = \frac{146{\cdot}78}{146{\cdot}78 - n} \text{ und } n = 146{\cdot}78 - \frac{146{\cdot}78}{s}.$$

51. Ladung und Entladung. Bei der Ladung muss der positive Pol der Maschine mit dem positiven Pole des Sammlers verbunden sein Die Ladung ist solange fortzusetzen bis von allen Platten Gasblasen aufsteigen; man sagt dann: „Die Zellen kochen“. Die positven Platten sehen dann dunkelbraun, die negativen hellgrau aus.

Zum Laden der Sammler eignen sich Nebenschlussmaschinen am besten; Reihen- und gemischt-geschaltete Maschinen werden nie, für mit Sammlerbetrieb vorgesehene Anlagen, in Vorschlag gebracht.

Als erforderliche Klemmenspannung an der Maschine rechnet man für jede zu ladende Zelle etwa 2·6 Volt; die Spannung des Sammlers kann durch Zellenschalter, welche Zellen zu- und abschalten oder durch Widerstände reguliert werden. Die durch Widerstände getilgte Spannnng berechnet man auch hier nach dem Ohm'schen Gesetze:

$$V = A \, . \, O$$ (I. Th., 1. B. S. 24).

Beispiel: Wie viel Spannung tilgt ein Widerstand von 0·5 Ohm in einem Sammlerstromkreise, welchen 100 Ampère durchfließen?

$$V = A \, . \, O,$$
$$V = 100 \, . \, 0{\cdot}5 = 50.$$

Durch den Widerstand von 0·5 Ohm gehen in dem Stromkreise von 100 Ampère 50 Volt verloren.

Beispiel: Wie groß stellt sich in dem letzten Beispiele die Anzahl der durch den Widerstand verlorenen Pferdekräfte?

Die Anzahl der Verlust-Voltampère = 50 Volt . 100 Ampère = 5000 Voltampère.

Da 736 Voltampère = 1 metrische Pferdekraft = 1 *PS* (I. Th. 1. B., Seite 110), betragen die Verlustpferdekräfte:

$$5000 : 736 = 6{\cdot}79 \; PS.$$

Im Folgenden soll die Verwendbarkeit der verschieden geschalteten Dynamo zum Laden der Sammler besprochen werden:

1. Reihenmaschine. Die Reihenmaschine muss zunächst auf einen Widerstand geschaltet werden. Hat die Maschine die erforderliche Spannung erreicht, so schaltet man vorerst den Widerstand und den Sammler nebeneinander und hierauf den Widerstand aus. Überwiegt die Spannung des Sammlers jene der Dynamo, dann wird letztere von einem Rückstrom umflossen; man sagt: „Der Strom schlägt um“. Die Stärke des Rückstromes berechnet man bei gegebenem Widerstande des Stromkreises nach dem Ohm'schen Gesetze, indem man in demselben anstatt der Spannung die Differenz der Klemmenspannungen von Sammler und Maschine einführt.

Beispiel: Wie stark ist der Rückstrom in Ampère in einem Sammlerstromkreise von 2 Ohm Widerstand, wenn die Klemmenspannung des Sammlers 160 Volt und jene der Maschine 150 Volt betragen?

Die Spannungsdifferenz hat den Wert:

$$160 \text{ Volt} - 150 \text{ Volt} = 10 \text{ Volt}.$$

Aus dem Ohm'schen Gesetze:

$$A = \frac{V}{O} \text{ (I. Seite 48) folgt demnach:}$$

$$A = \frac{10}{2} = 5 \text{ Ampère.}$$

Da der Rückstrom die Magnetschenkel in entgegengesetzter Richtung durchfließt, werden dieselben umpolarisiert. Soll diese Maschine weiter zum Laden des Sammlers benutzt werden, so muss man dieselbe mittelst einer eigenen Stromquelle rückpolarisieren oder die Anschlüsse des Sammlers an die Maschine wechseln. Auch der Anker wird von dem Rückstrome in entgegengesetzter Richtung umflossen, so zwar, dass Maschine und Sammler nicht mehr gegeneinander, sondern hintereinander geschaltet erscheinen. Infolge der so entstehenden hohen elektromotorischen Kräfte wächst die Stromstärke plötzlich an, so dass sofort das Abschmelzen der Sicherungen oder das Heißwerden der Maschinenwickelungen eintritt. Nur wenn die Sicherungen nicht vorhanden oder unrichtig bemessen sind, können die Maschinen oder der Sammler einzeln oder zusammen Schaden leiden.

2. Nebenschlussmaschine. Die Nebenschlussmaschine wird, falls dieselbe zum Laden eines Sammlers Verwendung finden soll, auf die erforderliche Spannung gebracht und erst dann an den Sammler angeschlossen. Eine vorhergehende Schaltung der Dynamo auf Widerstände erscheint überflüssig. Nimmt weiters die Spannung der Dynamo, z. B. durch langsameres Laufen derselben, durch Kurzschlüsse im Anker u. s. w. plötzlich so stark ab, dass sie geringer wird, als die Spannung an dem Sammler, so umfließt dieselbe, ebenso wie die Reihenmaschine, ein Rückstrom. Der letztere Strom polarisiert jedoch die Nebenschlussmaschine nicht um, weil, wie man schon aus einem einfachsten Schaltungsschema (I. Th. 1. B. S. 174, Fig. 184) ersehen kann, Maschinen- und Rückstrom die Magnete in derselben Richtung durchfließen. Bei der Nebenschlussmaschine ändert sich durch den Rückstrom bloß die Stromrichtung im Anker. Das Laden erfolgt dann, wenn die Maschinenspannung die Sammlerspannung wieder überwiegt, was man in der Regel durch das raschere Laufen der Maschine oder das Ausschalten von Regulierwiderständen im Hauptstromkreise erreicht. Bei neu einzurichtenden Anlagen werden zum Laden der Sammler immer Nebenschlussmaschinen verwendet.

3. Gemischt geschaltete Maschine. Da diese Maschine sowohl eine Reihen-, als auch eine Nebenschlusswickelung auf den Magneten besitzt, gelten für dieselbe die bei der Reihen- und Nebenschlussmaschine an-

gegebenen Regeln gleichzeitig. Das Umpolarisieren der gemischt geschalteten Maschine wird nur dann eintreten können, wenn die dicken (Reihen-) Ampèrewindungen die dünnen (Nebenschluss-) Ampèrewindungen überwiegen, d. h. wenn das Produkt aus Ampère mal Windungen der dicken Wickelung kleiner ist, als das Produkt aus Ampère mal Windungen der dünnen Wickelung. Häufig verwendet man gemischt geschaltete Maschinen nur als Nebenschlussmaschinen, indem man die dicken Windungen abschaltet; dann sinkt jedoch die Spannung der Maschine. Man kann sich in diesem Falle gewöhnlich durch Erhöhung der Umdrehungszahl der Mrschine helfen. Das Umpolarisieren der gemischt geschalteten Maschine kann auch dadurch vermieden werden, dass man den Sammler nicht an die Klemmen der Maschine, sondern direkt an die Bürsten anschließt.

Die im Folgenden angegebenen Klemmenspannungen stellen Mittelwerte dar. Genaue Angaben über die Klemmenspannung, Lade- und Entladestromstärke u. s. w. können sich nur auf eine bestimmte Konstruktion beziehen und werden von den betreffenden Firmen angegeben.

Für je eine Zelle ist zu Anfang der Ladung eine Klemmenspannung von 2, später 2·5 und schließlich 2·7 Volt erforderlich. Die Klemmenspannung eines Sammlers wächst mit der Säuredichte desselben.

Die Klemmenspannung der Nebenschlussmaschine muss dem Produkte aus der Anzahl der Zellen in die mittlere Spannung der einzelnen Zelle (hier 2·5 Volt) gleich sein. Die Maschine darf erst dann in den Sammler eingeschaltet werden, wenn ihre Klemmenspannung größer ist, als die Spannung des einzuschaltenden Sammlers. Von einer Spannung der Zellen von 2·4 Volt angefangen, erscheint es vortheilhaft, mit niederer als der normalen Ladestromstärke zu laden. Während des Entladens gibt die Zelle in den ersten Minuten zunächst 2·3, sinkt rasch auf 1·9 und ganz langsam auf 1·8 Volt. Die Grenze der Entladung ist erreicht, wenn die Spannung rasch unter 1·8 Volt zu fallen beginnt.

52. Dichte der Säure. Während des Ladens und Entladens verursacht der chemische Vorgang im Sammler eine verschiedene Dichte der Säure. Der Ladestrom zerlegt das schwefelsaure Blei. Es bildet sich dabei Schwefelsäure, während Wasser verbraucht wird, so dass die Dichte der Säure ansteigt. Beim Entladen tritt der umgekehrte chemische Vorgang ein und die Dichte der Säure fällt. Ein in die Flüssigkeit eingesenktes Aräometer gibt die Dichte der Säure an. Hat z. B. die Dichte der Säure beim Laden den Wert 1·147, so beträgt dieselbe nach Beendigung der Ladung 1·18. Steigt die Dichte der Säure

an, so fällt die verbrauchte Strommenge ab. Die Dichte der Säure nimmt von den unteren nach den oberen Schichten derselben ab. Den Messungen legt man in der Regel eine mittlere Säuredichte zu Grunde d. i. die Dichte der Säure in halber Höhe der Platten. Saugt man aus dieser mittleren Schichte Säure heraus, so kann man dieselbe mit Hilfe einer aräometrischen Wage (Moor, Westphal) messen.

53. Stromstärke, Stromdichte, innerer Widerstand. Die Stromstärke hängt von der Größe der wirksamen Oberfläche der Elektroden ab. Die Stromstärke der Einheit der Plattenoberfläche nennt man Stromdichte. Die größte bisher angewendete Entladestromstärke beträgt 500 Ampère.

C. Heim nimmt für 1 dm^2 Elektrodenoberfläche 0·4 bis 0·6 Ampère Ladestrom und 0·3 bis 0·7 Ampére Entladestrom an.

Zu hoher Entladestrom bringt die Elektroden in Gefahr und vermindert das Güteverhältnis des Sammlers.

Der innere Widerstand für die geladene Zelle ist etwas kleiner, a s für die entladene. Er hat bei kleinen Zellen etwa den Wert 0·1 Ohm, bei großen dagegen meist einen kleineren Wert als 0·001 Ohm. Nach Ayrton ergibt sich für Entladungen mit 0·5 Ampère für 1 dm^2 Stromdichte der mittlere innere Widerstand, wenn man den Widerstand für 1 dm^2 der Oberfläche der positiven Platte (zu 0·084 Ohm angenommen), durch die Anzahl der dm^2 der Gesammtoberfläche der positiven Platten dividiert. Die Berechnung aus den Abmessungen des Sammlers und dem Leitungsvermögen der Schwefelsäure wird deshalb unmöglich, weil der größte Theil des Widerstandes an der Berührungsfläche der Platten mit der Flüssigkeit liegt.

54. Kapacität. (Ansammlungs-, Aufnahme-Fähigkeit, Aufspeicherungsvermögen). Unter der Kapacität eines Sammlers versteht man die Anzahl der Ampèrestunden, die man aus demselben, bis zu einem Spannungsabfalle von 10⁰/₀ entnehmen kann.

Gibt ein Sammler 100 Ampère 4 Stunden lang, so ist seine Kapacität 400 Ampèrestunden.

Multipliciert man die Entladestromstärke mit der Spannung an den Klemmen des Sammlers und mit der Zeit, so erhält man die elektrische Arbeit in Wattstunden.

Als Spannung des Sammlers hat man einen mittleren Wert derselben einzuführen. Beträgt die Spannung zu Anfang der Entladung 1·9, zu Ende der Entladung 1·8 Volt, so ist die mittlere Spannung

$$= \frac{1{\cdot}9 + 1{\cdot}8}{2} = 1{\cdot}85 \text{ Volt.}$$

Bei genauen Bestimmungen sind, da sich die Spannung nicht gleichmäßig ändert, mehrere Werte der Wattstunden in gewissen Zeitabschnitten zu ermitteln. Addiert man diese Werte und dividiert die Summe durch die Anzahl der Werte, so erhält man einen genauen Mittelwert.

Beispiel: Wie groß ist die elektrische Arbeit einer Zelle in Wattstunden, wenn die Entladestromstärke andauernd 20 Ampère, die Zeit der Entladung 5 Stunden und die mittlere Spannung während der Entladung 1·85 Volt betragen?

Lösung: $20 \times 5 \times 1{\cdot}85 = 185$ Wattstunden.

A. von Waltenhofen bestimmt die normale Kapacität durch Entladung des Sammlers bei einer Stromstärke von 1 Ampère für 1 *kg* Plattengewicht bis zu einem Spannungsabfalle von 10, C. Heim von 7%. Die Kapacität der meisten Sammler beträgt 4 bis 8 Ampèrestunden für 1 *kg* Plattengewicht. Wilhelm Peukert[1]) hat über die Abhängigkeit der Kapacität von der Entladestromstärke eine eigene Formel aufgestellt.

55. Güteverhältnis. Das Güteverhältnis eines Sammlers wird entweder auf die Elektricitätsmengen in Ampèrestunden oder auf die elektrische Arbeit in Wattstunden bezogen. Unter dem Güteverhältnisse in Bezug auf Ampèrestunden versteht man das Verhältnis der Ampèrestunden während der Entladung zu den Ampèrestunden während der Ladung.

Beispiel: Wie groß ist das Güteverhältnis eines Sammlers, bezogen auf Ampèrestunden, wenn derselbe mit 440 Ampèrestunden geladen, 400 Ampèrestunden Entladestrom gibt?

$$\text{Lösung: } \frac{400}{440} = 0{\cdot}90, \text{ d. h. } 90\%.$$

Unter dem Güteverhältnisse in Bezug auf Wattstunden versteht man das Verhältnis der Wattstunden während der Entladung zu den Wattstunden während der Ladung.

Beispiel: Ein Sammler wurde mit 600 Wattstunden geladen, mit 510 Wattstunden entladen; es ist das Güteverhältnis bezüglich der Wattstunden zu berechnen.

$$\text{Lösung: } \frac{510}{600} = 0{\cdot}85, \text{ d. h. } 85\%.$$

Als Güteverhältnisse gelten

für das Güteverhältnis bezüglich der Ampèrestunden[2]) 94 bis 97·3%,

" " " bezüglich der Wattstunden[2]) 83 bis 87·5%.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift 1898, S. 146.

[2]) Nach den Messungen an Correns-Akkumulatoren (Juli 1891), ausgeführt von C. Heim, W. Kohlrausch, Wilhelm Peukert, Voller, Otto Berner, Gustav Conz, G. Gemershausen, Richard Seifert und Classen.

56. Prüfung der Untersuchung der Zellen. Die Prüfung und Untersuchung der Zellen ist in den folgenden Punkten übersichtlich zusammengestellt:

1. Gegen Ende der Ladung muss die Gasbildung aller Zellen gleich stark sein. Die Gasbildung ermöglicht die einfachste Prüfung und Untersuchung der Zellen. Jeder Fehler einer Zelle gibt sich durch das Ausbleiben der Gasentwickelung zu erkennen.

2. Nach Beendigung der Ladung sind die Säuredichte und die Spannung sämmtlicher Zellen zu messen. Gewöhnlich gießt man reines Wasser, im Falle zu geringer Säuredichte sämmtlicher Zellen jedoch, verdünnte Säure nach. Nur auf Kosten des Güteverhältnisses kann man bei einzelnen Zellen die normale Säuredichte durch eine starke Überladung erzielen.

3. Die Säure muss in allen Zellen die Oberkante der Elektroden um etwa 1 *cm* überragen.

4. Die Elektroden dürfen nicht kurz geschlossen sein. Der Kurzschluss erfolgt in der Regel durch die aus den Elektroden herausfallende Füllmasse. Zeigt eine Zelle Kurzschluss, so kann man denselben dadurch beseitigen, dass man mittels eines Holzstäbchens die Füllmasse zwischen den Elektroden entfernt oder dadurch, dass man die Zelle aus der Reihe ausschaltet und die so entstehende Unterbrechungsstelle durch einen entsprechend starken Draht schließt. Bei Kurzschluss zeigen die Zellen sehr niedrige Spannungen an. Zur bequemen Untersuchung der Spannung dienen Glühlampen oder Spannungszeiger mit 4 Volt Spannung, welche man an je zwei Zellen und, im Falle sich ein Fehler durch zu niedrige Spannung zeigt, an die einzelnen Zellen anlegt. Eine 4 Voltlampe leuchtet an einer einzelnen Zelle dunkel, an einer kurzgeschlossenen gar nicht.

5. Die positiven Elektroden müssen dunkelbraun, die negativen hellgrau sein. Bildet sich auf der positiven Elektrode ein Niederschlag von schwefelsaurem Blei, dann erscheinen dieselben grau bis weiß gefärbt.

Die Ursachen eines solchen Niederschlages sind:

a) Zu lange Dauer der Entladung.

b) Zu starker Entladestrom.

c) Kurzschlussbildung.

d) Isolationsfehler.

e) Lange Unthätigkeit des Sammlers.

Die unter *e*) angegebene Ursache beseitigt ein öfteres Laden und Entladen der Zellen.

6. Der Sammler muss von der Erde sorgfältigst isoliert sein.

57. Vorsichtsmaßregeln.[1]) Schwefelsäure färbt die Kleidungsstücke rothbraun und verkohlt die gefärbten Stellen. Man schützt sich deshalb durch das Tragen von Kleidern, welche gegen verdünnte Schwefelsäure am wiederstandsfähigsten sind (Wollenkleider).

Schürzen und Schuhe sollen mit einer Mischung aus Paraffin und Wachs bestrichen werden. Entstehen in den Kleidern durch die Säure Flecken, so bestreicht man dieselben sofort mit Salmiakgeist (wässerigem Ammoniak).

Die Hände werden durch die Säure rauh; man spült dieselben deshalb von Zeit zu Zeit mit Soda ab.

Da sämmtliche Bleiverbindungen giftig sind, hat man die größte Vorsicht zu gebrauchen, damit dieselben nicht in wunde oder offene Stellen der Haut eindringen.

58. Schaltungen. [2]) Beim Laden werden die Sammlerzellen hintereiander, seltener nebeneinander geschaltet. Bei der letzteren Schaltung theilt man die Zellen in der Regel in zwei Hälften. Jeder Hälfte der Zellen wird dann ein Widerstand vorgeschaltet. Diese Widerstände haben den Zweck zu verhindern, dass die eine Hälfte der Zellen Strom in die andere sendet. Die Nebeneinanderschaltung von Zellen wird zumeist nur in solchen schon bestehenden Anlagen verwendet, in welchen Sammler zur Aufstellung kommen.

Bei hintereinander geschalteten Zellen, Fig. 46 verbindet man den positiven Pol der Maschine mit dem positiven Pole der ersten Zelle, schaltet sämmtliche Zellen nach dem Schema + — + — u. s. w. hintereinander und verbindet den negativen Pol der letzten Zelle mit dem negativen Pol der Dynamomaschine. Die Richtigkeit der Schaltung ist wohl zu beachten.

Die Pole der Zellen erkennt man zunächst nach ihrer Farbe (§ 56 unter 5). Weitere Mittel zur Bestimmung der Pole wurden früher (I. Th., 2. B., S. 3) angegeben. Über die Anwendung des Lackmus- und Curcumapapieres zur Polbestimmung habe ich an besonderer Stelle [3]) berichtet. Gegen das Lackmus-, Curcuma- und Polreagenzpapier verhalten sich der + elektrische Pol wie eine Säure, der negative wie eine Base. (Der + Pol färbt Lackmuspapier roth, der — Pol blau. Der — Pol färbt Curcumapapier rothbraun). Bei den Deprez'schen industriellen Galvanometern (I. Th., 2. B., S. 44) sind die Klemmen mit

[1]) Siehe auch Elektrotechnische Zeitschrift, 1899, S 48.

[2]) In den folgenden Paragraphen 58 bis 64 wurde das Schaltungsbuch der Akkumulatorenfabrik-Aktien-Gesellschaft (System Tudor) benützt.

[3]) Heinrich Kratzert, Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, 1894, Seiten 270 und 271.

dem Zeichen + und — versehen. Wird das Instrument verkehrt eingeschaltet, so gibt der Zeiger, vom Nullpunkte aus gesehen, einen Ausschlag nach der entgegengesetzten Richtung der Theilung und leistet somit auch zur Polbestimmung gute Dienste.

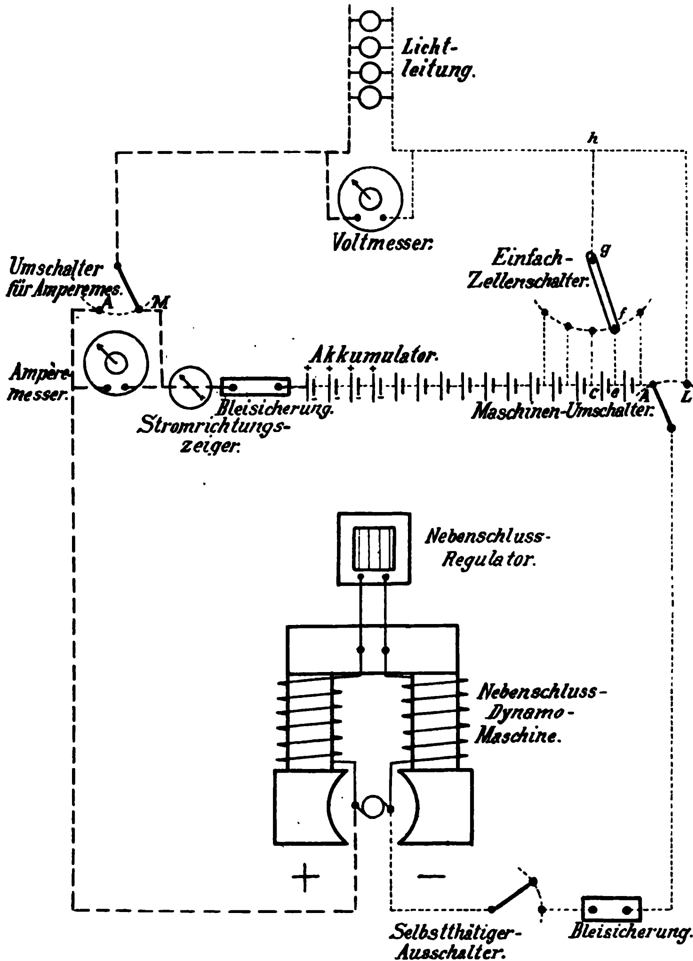


Fig. 46. Schaltungsschema für eine Beleuchtungsanlage mit einem Akkumulator und einem Einfach-Zellenschalter.

Beim Entladen tritt der Strom bei der positiven Klemme, sowie bei jeder Stromquelle, aus der Zelle.

Bei den Schaltungsschemen Fig. 46 und Fig. 47 sind Maschine, Sammler und Nutzleitung nebeneinander geschaltet, so zwar, dass

Maschine und Sammler gemeinsam und einzeln in die Nutzleitung eingeschaltet werden können.

Zur Regulierung des Lade- und Entladestromes dienen sogenannte Zellenschalter. Die Spannung der Zelle steigt während der Ladung

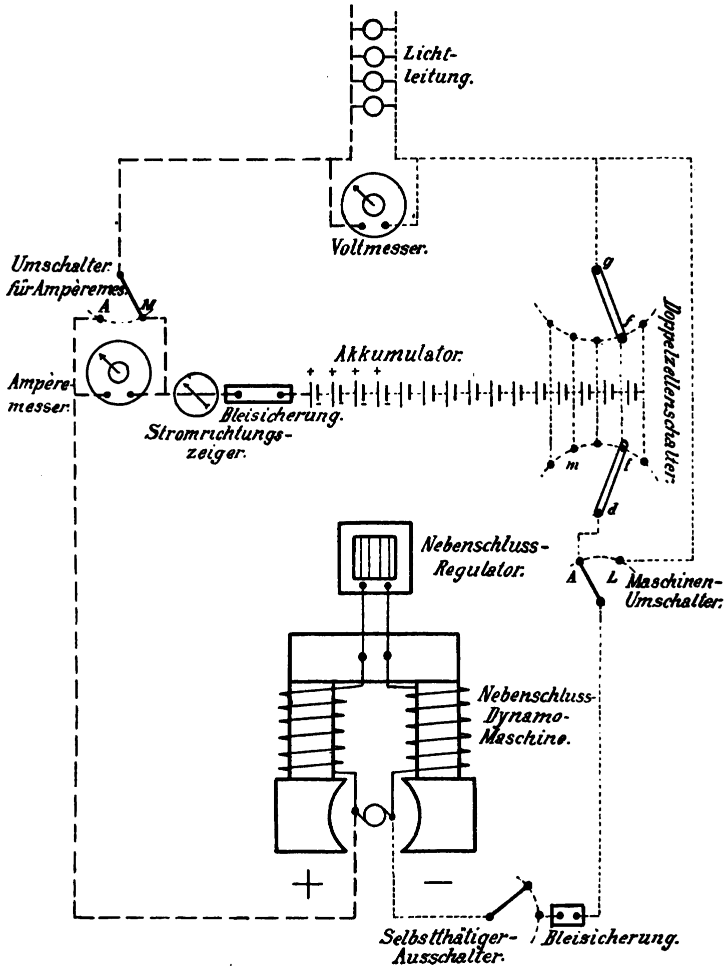


Fig. 47. Schaltungsschema einer Beleuchtungsanlage mit einem Akkumulator und einem Doppelzellenschalter.

z. B. von 2·09 Volt allmählich bis auf 2·70 Volt. Sollen nun während dieser Zeit Lampen brennen, wie dies z. B. bei Schaltung Fig. 46 der Fall ist, so wird es erforderlich, dass man an die Lichtleitung nur soviel Zellen anschließt, als nothwendig erscheinen, um die für das

regelrechte Brennen der Lampen erforderliche Spannung in der Lichtleitung zu erzeugen. Um diese Spannung hervorzubringen, sind, da die Spannung während der Ladung steigt, nach und nach, je weiter die Ladung vorschreitet, immer weniger Zellen erforderlich; das hierdurch bedingte Abschalten der Zellen erfolgt mittels des Zellenschalters.

Bei der Entladung fällt z. B. die Spannung der Zelle von 1·90 Volt bis 1·83 Volt. Dadurch wird es nothwendig, mittels des Zellenschalters nach und nach Zellen hinzuzuschalten, um bei fortschreitender Entladung die Spannung in der Lichtleitung auf der erforderlichen Höhe zu erhalten. Es sind mithin die ersten am Zellenschalter liegenden Zellen, von Klemme *A* des Maschinen-Umschalters beginnend, diejenigen Zellen, welche erst später zur Stromlieferung beitragen, und sie werden daher weniger entladen, als die andern Zellen.

Zum Zweck der Ladung stellt man den Hebel des Maschinen-Umschalters auf *A*.

Hieraus folgt, dass bei Schaltung Fig. 46, bei welcher Einfachzellenschalter zur Anwendung kommen, der Ladestrom immer durch sämmtliche Zellen führt. Da nun die ersten am Zellenschalter liegenden Zellen, wie eben erklärt, weniger entladen sind wie die andern Zellen, so werden dieselben auch früher geladen sein, wie die andern; das Weiterladen derselben ist daher zwecklos und immer mit Kraftverlust verbunden. Dieser Verlust hat bei kleinen Anlagen einen geringen Wert. Bei größeren Anlagen ist derselbe jedoch wohl zu berücksichtigen. Nehmen wir z. B. eine Zelle an, bei welcher der Ladestrom 230 Ampère beträgt, so ergibt sich bei einer Spannung nach erfolgter Ladung von 2·70 Volt für jede Zelle ein Verlust von 230 Ampère × 2·70 Volt = 621 Volt-Ampère, welcher Wert rund einer Pferdestärke (736 Volt-Ampère) entspricht. Der Einwand gegen den Einfachzellenschalter, dass man bei Anwendung desselben die geladenen Zellen nicht abschalten kann, erscheint demnach wohlbegründet.

Die Aufgabe, die geladenen Zellen abschalten zu können, löst in einfacher Weise die Anwendung von Doppelzellenschaltern, Schaltung Fig. 47. Ein Blick auf diese Schaltung zeigt, dass man durch das Drehen des Hebels *d f* am Zellenschalter jederzeit in der Lage ist, die geladenen Zellen abzuschalten, wodurch jeder überflüssige Verlust beim Laden des Sammlers vermieden wird. Ein eng hiermit zusammenhängender Vortheil der Anwendung des Doppelzellenschalters ist der, dass, da gegen Ende der Ladung in der Regel bereits Zellen von der Ladung ausgeschlossen sind, die Spannung der Maschine in dieser Zeit nicht so hoch zu sein braucht, als dies bei Anwendung eines Einfachzellenschalters nöthig sein würde.

59. Beanspruchung der am Zellenschalter liegenden Zellen. Wenn während der Ladung des Sammlers Lampen brennen, Schaltung Fig. 46, so geht durch diejenigen Zellen, welche zwischen dem Maschinen-Umschalter und dem Punkt, an welchen der Hebel *f g* des Zellenschalters Kontakt hat, liegen, also diejenigen, welche zwischen *A* und *e* ihren Platz haben, der Ladestrom des Sammlers, zuzüglich des Stromes, welcher in der Leitung verbraucht wird. Von *e* ab trennt sich der Strom, indem der Ladestrom durch den Sammler weiter geht, während der Strom zur Speisung der Lampen den Weg *e*, *f*, *g*, *h* in die Lichtleitung nimmt. Die am Zellenschalter liegenden Zellen erhalten demnach unter Umständen einen stärkeren Strom, als ihn der für die betreffende Größe als höchst zulässige Ladestrom angibt. Für diese Zellen gestatten die Tudor-Sammler eine Überschreitung des als höchst zulässig angegebenen Ladestromes um 20%. Brennen soviel Lampen in der Leitung, dass der Ladestrom zuzüglich des Stromes in der Leitung diese Grenze überschreitet, so muss entweder der Ladestrom oder die Anzahl der während der Ladung brennenden Lampen, bis zur Einhaltung der vorgeschriebenen Grenze für den Gesammtstrom, verringert werden, oder aber es müssen die am Zellenschalter liegenden Zellen entsprechend vergrößert werden. Für diese größeren Zellenschalter-Zellen ist ebenfalls eine Überschreitung des Ladestromes um 20% gestattet. Selbstverständlich muss in einem solchen Falle der Zellenschalter dieser größeren Beanspruchung entsprechend stärker bemessen werden.

Wenn die Maschinenleistung an und für sich nicht den als höchst zulässig angegebenen Ladestrom des betreffenden Sammlers zuzüglich 20% überschreitet, wie dies bei neu projektierten Gesammtanlagen der Fall sein sollte, so ist schon durch diese natürliche Grenze selbstverständlich einer Überanstrengung der Zellenschalter-Zellen vorgebeugt. Wenn viele Lampen während der Ladung mitbrennen, so ist selbst bei kleinen Anlagen ein Doppelzellenschalter, der lebhaften Gasentwicklung in den Zellenschalter-Zellen wegen, empfehlenswert.

60. Maschinen-Umschalter. Geht man vom Ladebetrieb zum Parallelbetrieb der Maschine und des Sammlers über, so wird der Hebel des Maschinen-Umschalters, Fig. 46, von *A* auf *L* gestellt. Der Strom der Maschine nimmt dann seinen Weg über *L h* in die Lichtleitung, während der Strom des Sammlers über *f*, *g*, *h* in die Lichtleitung fließt. Die Vereinigung des Maschinenstromes mit dem Sammlerstrom findet somit bei *h* statt. Könnte der Hebel des Maschinen-Umschalters bei Anwendung von Einfachzellenschaltern, Schaltung Fig. 46, beide Kontakte *A* und *L* gleichzeitig berühren, so würden in dem Augen-

blicke gleichzeitiger Berührung die Zellen zwischen *A* und *e* über den Weg, *L*, *h*, *g*, *f*, *e*, *A* kurz geschlossen sein, was dadurch vermieden wird, dass man den Maschinen-Umschalter mit Unterbrechung ausführt, d. h., dass man zwischen *A* und *L* einen für das Ausschalten genügend großen Zwischenraum schafft. Infolge dieses Ausschaltens wird alsdann die Maschine stromlos, und der selbstthätige Ausschalter schaltet aus, so dass für den Augenblick des Überganges der Sammler den Strom für die Lichtleitung allein liefern muss. Der Übergang vom Ladebetrieb zum Parallelbetrieb muss daher zu einer Zeit vorgenommen werden, während welcher der Verbrauch in der Lichtleitung die als höchst zulässig angegebene Entladungsstromstärke des Sammlers nicht übersteigt. Sobald der Hebel des Maschinen-Umschalters auf *L* gestellt wurde, bringt man die Spannung der Maschine auf eine um 5 Volt höhere als diejenige ist, welche in der Lichtleitung herrscht, und schaltet den selbstthätigen Ausschalter wieder ein, wodurch der Parallelbetrieb hergestellt wird.

Dieses Stromloswerden der Maschine und das darauf folgende Ausschalten des selbstthätigen Ausschalters tritt bei Anwendung von Doppelzellenschaltern, Schaltung Fig. 47, nicht ein. Will man hierbei vom Ladebetrieb zum Parallelbetrieb übergehen, dann stellt man die Hebel *df* und *gf* des Doppelzellenschalters so ein, dass dieselben einander gegenüberstehen, Fig. 47, und mit der gleichen Klemme Kontakt haben. Fig. 47 zeigt, dass bei dieser Stellung der Zellenschalterhebel durch das Umschalten des Maschinen-Umschalters von *A* nach *L* kein Kurzschluss entstehen kann. Der Maschinen-Umschalter wird daher bei Anwendung von Doppel-Zellenschaltern ohne Unterbrechung ausgeführt, d. h. die Anordnung wird so getroffen, dass der Hebel desselben beim Umschalten des Maschinenumschalters beide Kontakte *A* und *L* gleichzeitig berührt, wodurch das Ausschalten des selbstthätigen Ausschalters vermieden wird.

61. Parallelbetrieb und Wahl der Ladezeit. Es empfiehlt sich, die Ladung so vorzunehmen, dass dieselbe kurz vor dem Beginn des Hauptlichtbedarfes vollendet ist, so dass man von der Ladung unmittelbar zum Parallelbetrieb übergehen kann.

Bei Parallelbetrieb soll die Maschine immer möglichst voll ausgenützt werden und der Sammler nur soviel Strom abgeben, als der Bedarf in der Lichtleitung die Leistung der Maschine übersteigt. Diese Beschränkung der Entnahme aus dem Sammler hat den Zweck, die darauf folgende Ladezeit möglichst zu verkürzen und den Sammler zu befähigen, für den Fall eines plötzlichen Unbrauchbarwerdens der Dynamomaschine die Stromlieferung für die Leitung möglichst lange allein übernehmen zu können. Für einen solchen Nothfall ist die dreifache

höchste Entladestromstärke zulässig. Eine solche starke Inanspruchnahme für den Ausnahmsfall schadet dem Sammler nicht. Es ist jedoch die Wiederladung bald vorzunehmen und bei den nächsten beiden Ladungen je eine Stunde zu überladen.

62. Anordnung des Stromzeigers und des Stromzeiger-Umschalters. Bei Anlagen für 150 Ampère und höher wird sowohl in die Maschinenleitung, als auch in die Sammlerleitung je ein Stromzeiger eingeschaltet. Bei kleineren Anlagen für 30 bis 100 Ampère dagegen, kann einer dieser Stromzeiger durch einen Stromzeiger-Umschalter, Schaltung Fig. 47, erspart werden. Stellt man den Hebel des Stromzeiger-Umschalters auf *M*, so liest man am Stromzeiger die Stromstärke der Maschine ab, während der Stromzeiger bei der Stellung des Stromzeiger-Umschalters auf *A* die Stromstärke des Sammlers angibt.

63. Mitbrennen von Lampen während der Ladung. Eine Beleuchtungsanlage muss so eingerichtet sein, dass man augenblicklich Licht haben kann. Es muss daher auch die Möglichkeit vorgesehen sein, während der Ladung Lampen einschalten zu können.

Bei Beleuchtungsanlagen mit Sammlern, tritt häufiger als bei Anlagen ohne dieselben die Nothwendigkeit ein, während der Tagesstunden zu beleuchten. Der Grund liegt darin, dass bei letzteren Anlagen die Dynamomaschine in der Regel am Tage stillsteht und einiger Lampen wegen, z. B. in Kellern, dunklen Arbeitsplätzen u. s. w., nicht in Thätigkeit gesetzt wird.

Dagegen ist fast überall, wo die Dynamomaschine am Tage behufs Ladung der Sammler während längerer oder kürzerer Zeit in Betrieb steht, dafür gesorgt, dieselbe zur Abgabe von Licht zu benützen.

Es entspricht demnach zumeist, die Anordnung so zu treffen, dass während der Ladung Lampen mitbrennen können. Eine Ausnahme hiervon findet bei der Anwendung von Kompoundmaschinen statt; bei diesen hängt die Möglichkeit des Mitbrennens von Lampen von einem Vorversuch [1]) ab.

64. Zellenschalter. Wie oben angegeben wurde, steigt die Spannung am Ende der Ladung auf 2·70 Volt. Unter Berücksichtigung des Verlustes in der Ladeleitung und der Sicherheit halber, wird bei der Bestimmung der abzuschaltenden Zellen eine Spannung von 2·75 Volt zu Grunde gelegt. Für 110 Volt Spannung sind 60 Elemente erforderlich. Von diesen 60 Elementen genügen demnach $\frac{110}{2{\cdot}75} = 40$ Stück,

---

[1]) Schaltungsbuch der Akkumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft (System Tudor).

um am Ende der Ladung die nöthige Spannung in der Lichtleitung hervorzubringen, so dass, wenn während der Ladung Lampen brennen sollen, mittels des Zellenschalters 60 — 40 = 20 Zellen abgeschaltet werden müssen. Hieraus folgt die Regel, dass, wenn während der Ladung Lampen brennen sollen, der Zellenschalter für das Abschalten von $\frac{20}{60} = \frac{1}{3}$ sämmtlicher, für das regelrechte Brennen der Lampen erforderlichen Zellen eingerichtet werden muss. Wenn für Verluste in der Lichtleitung noch eine entsprechende Anzahl Zellen mehr angelegt wird, so müssen diese Zellen ebenfalls sämmtlich mittels des Zellenschalters abschaltbar sein, da, wenn ein geringer Stromverbrauch in der Lichtleitung während der Ladung vorhanden ist, der Spannungsverlust nicht in Betracht kommt. Erfordern z. B. die Lampen eine Spannung von 110 Volt und ist ein Spannungsverlust in den Leitungen von 10 Volt vorhanden, so muss der Sammler für 110 + 10 = 120 Volt berechnet sein und somit $\frac{120}{1{\cdot}83} = 66$ Zellen erhalten. Von diesen 66 Zellen entsprechen 60 der Anzahl, welche für das regelrechte Brennen der Lampen mit 110 Volt genügen, während 6 Zellen den Leitungsverlust ausgleichen. Wenn während der Ladung Lampen brennen sollen, müssen somit $\frac{60}{3} + 6 =$ $= 26$ Zellen mittels des Zellenschalters abgeschaltet werden können.

Für 110 Volt und 10 Volt Spannungsverlust in den Leitungen, also zusammen für 120 Volt, sind jedoch nur bei Privat-Anlagen, bei welchen häufig der volle Strombedarf bis zum Ende der Entladung stattfindet, 66 Elemente erforderlich. In Centralen dagegen findet die stärkste Beanspruchung lange vor Ende der Entladung statt, also zu einer Zeit, wo die Spannung des Sammlers noch mindestens 1·87 Volt beträgt, so dass hier 65 Zellen für den oben angegebenen Fall genügen. Am Ende der Entladung, also bei einer Spannung von 1·83 Volt für 1 Zelle ist in Elektricitätswerken der Leitungsverlust bedeutend geringer als 10 Volt. Wenn man nach beendigter Ladung den Sammler 2 Minuten lang mit der vollen Stromstärke entladet, so sinkt die Spannung bis auf 1·90 Volt. Den Übergang von der hohen Spannung zu der niedrigeren kann man ohne Beeinflussung der Gleichmäßigkeit des Lichtes, allmählich stattfinden lassen, wenn man langsam unter Beobachtung des Spannungszeigers mittels des Nebenschluss-Regulators die Maschine so reguliert, dass ihr nach und nach weniger Strom entnommen wird, während man den Sammler unter Zuhilfenahme des Zellenschalters mehr und mehr bis zur vollen Entladestromstärke belastet. Häufig ist jedoch infolgedessen, dass erst einige Lampen beim Beginn der Entladung brennen, die volle Entladestrom-

stärke nicht vorhanden und die Spannung deshalb im Anfang der Entladung etwas höher ist. Wenn während der Ladung keine Lampen brennen sollen, so rechnet man daher der Sicherheit halber die Anfangs-Entladespannung mit 2·1 Volt. Bei 110 Volt Lampenspannung ergeben somit die 60 erforderlichen Elemente bei der Entladung eine Anfangsspannung von 60 $\times$ 2·1 Volt = 126 Volt, so dass 126 — 110 = 16 Volt Spannung zuviel am Sammler vorhanden sind, woraus folgt, dass $\frac{16}{2{\cdot}1} \backsim 8$ Zellen mittels des Zellenschalters abgeschaltet werden müssen, wenn während der Ladung keine Lampen brennen sollen, oder wenn der Zellenschalter nur bei der Entladung gebraucht wird, während die Ladung in 2 Reihen erfolgt.

Da eine bedeutende Anzahl von Drähten zwischen dem Zellenschalter und dem Sammler gezogen werden muss, ist es aus Billigkeitsrücksichten zu empfehlen, den Sammlerraum so nahe als möglich an den Maschinenraum zu legen; dadurch erleichtert sich gleichzeitig die Wartung des Sammlers. Die Drähte für diejenigen Zellen, welche beim Parallelbetrieb in Betracht kommen, berechnet man bis zu 30 Meter erforderlicher Länge mit $^1/_2\,mm^2$ für 1 Ampère des höchst zulässigen Entladestromes, während man die übrigen Drähte, welche nur beim Ladebetrieb in Verwendung sind, mit $^1/_4\,mm^2$ für 1 Ampère des höchst zulässigen Entladestromes berechnet. Für Drahtlängen von mehr als 30 *m* muss man den Spannungsverlust in den Leitungen berücksichtigen und dann ist es empfehlenswert, die Querschnitte so zu bemessen, dass für die erstgenannten Drähte der Verlust in denselben nie mehr als 1 Volt beträgt, während für die letztgenannten der Verlust 2 Volt betragen darf. Abweichend hiervon hat jedoch der Verlust in den beiden Enddrähten des Sammlers höchstens 0·5 Volt zu betragen. Im vorher angeführten Fall, wobei ein Zellenschalter für 20 Zellen zur Anwendung kommt, wirken 8 Zellen beim Parallelbetrieb mit und sind folglich 9 Drähte stark zu wählen, während die übrigen 12 Drähte schwächer sein können. Bei großen Elektricitätswerken erweist es sich jedoch als vortheilhaft, sämmtliche Drähte stark zu bemessen.

Die Zellenschalter müssen so eingerichtet sein, dass ein Kurzschließen der betheiligten Zellen durch dieselben ausgeschlossen ist. Wäre in Fig. 48 der Hebel *c d* so breit, dass er die beiden Kontakte a^1 und a^2 gleichzeitig berühren könnte, dann erschiene das zwischen beiden liegende Element e^1 über den Weg a^1, p^1. e^1, p^2, a^2 kurzgeschlossen. Um diesen Kurzschluss zu vermeiden und doch beim Übergang von einem Kontakte zum anderen den Strom nicht zu unterbrechen, werden die Zellenschalter, wie es in Fig. 48 schematisch angegeben ist,

ausgeführt. Zwischen den Kontakten a^1, a^2 u. s. w. befinden sich die blinden Klemmen b^1, b^2 u. s. w. An dem breiten Schleifhebel *c d* ist der schmale Schleifhebel *f g* befestigt. Beide Hebel sind durch das nichtleitende Stück *i* von einander isoliert, dagegen durch den Widerstand *w* mit einander leitend verbunden. Dieser Widerstand *w* ist so groß

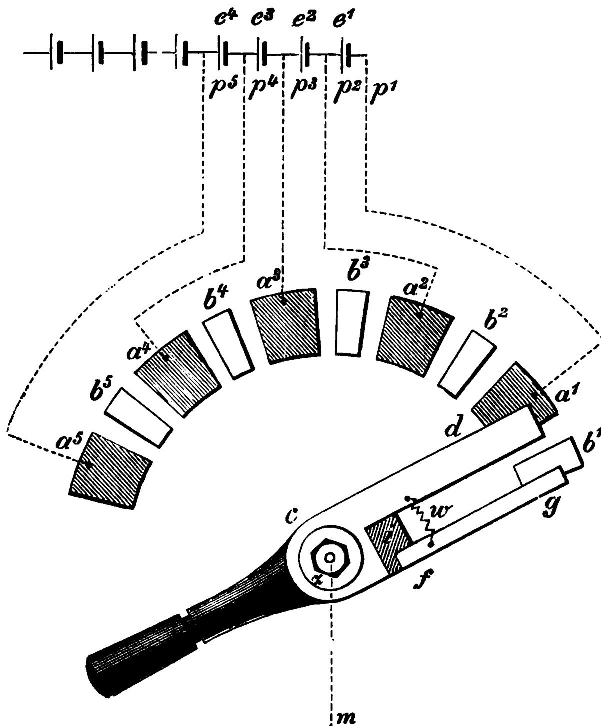


Fig. 48. Zellenschalter. Widerstand im Hebel.

zu bemessen, dass er bei der für die betreffende Elementgröße höchst zulässige Entladestromstärke 2 Volt vernichtet.

Tritt nun der Hebel *c d* zum Zwecke des Abschaltens einer Zelle auf die blinde Klemme b^2, so befindet sich der Hebel *f g* auf dem Kontakte a^1, und somit wird der Strom auf dem Wege p^1, a^1, *g*, *f*, *w*, *d*, *c*, *z*, *m* abgeleitet. Bei der weiteren Verschiebung des Hebels tritt *c d* auf a^2, während *f g* sich noch auf a^1 befindet, so dass die Zelle e^1 aut dem Wege p^1, a^1, *g*, *f*, *w*, *c d*, a^2, p^2 eingeschaltet ist. Ein Kurzschluss erscheint aber durch die Einfügung des Widerstandes *w* verhindert, so dass der Entladestrom der Zelle e^1 die als höchst zulässig angegebene Entladestromstärke nicht überschreitet.

Bei der am Ende der Bewegung einzuhaltenden normalen Stellung, bei welcher *c d* voll auf a^2 und *f g* voll auf b^2 aufliegt, ist *f g* und der Widerstand *w* außer Thätigkeit, so dass der Strom den Weg über p^2, a^2, *d c*, *z*, *m* findet. Es ist streng darauf zu achten, dass der Hebel in der Ruhe immer die normale Stellung einnimmt und nie dauernd auf irgend einer Zwischenstellung stehen bleibt.

Anstatt eines Widerstandes in dem Hebel, Fig. 48, können auch eine Reihe von Zwischenwiderständen zwischen festen Hauptkontakten angewendet werden. Eine Ausführung dieser Art veranschaulicht Fig. 49 schematisch. Die Verbindungsleisten je zweier Schaltzellen eines Batterieendes sind an die Hauptkontakte 1, 2, 3, 4, 5 und 6 angeschlossen. Auf diesen Kontakten gleitet der Hebel *K*. Die zu regulierenden Lampen sind einerseits mit dem zweiten Batterieende, anderseits mit dem Hebel *K* verbunden. Steht der Hebel *K* mit seinem Gleitstücke auf dem Kontakte 1, so arbeiten sämmtliche Zellen, steht der Hebel auf dem Kontakte 2, so arbeiten sämmtliche Zellen mit Ausnahme der zwischen 1 und 2 eingeschalteten Zelle, steht der Hebel auf dem Kontakte 3, so arbeiten sämmtliche Zellen bis auf die zwischen 1 und 3 eingeschalteten zwei Zellen. Soll bei dem Übergange von einem Hauptkontakte auf einen benachbarten die Beleuchtung nicht unterbrochen werden, so darf der Hebel z. B. bei seinem Übergange von dem Kontakte 1 auf den Kontakt 2 keine Unterbrechung des Stromkreises herbeiführen. Zur Erreichung dieses Zweckes müsste der Hebel so breit sein, dass er die Kontakte 1 und 2 gleichzeitig zu berühren vermöchte. In letzterem Falle jedoch wäre die zwischen 1 und 2 liegende Zelle kurzgeschlossen. Ein Kurzschluss von nur einigen Sekunden würde eine Zerstörung der Leitung zwischen den Kontakten und den Zellen, der

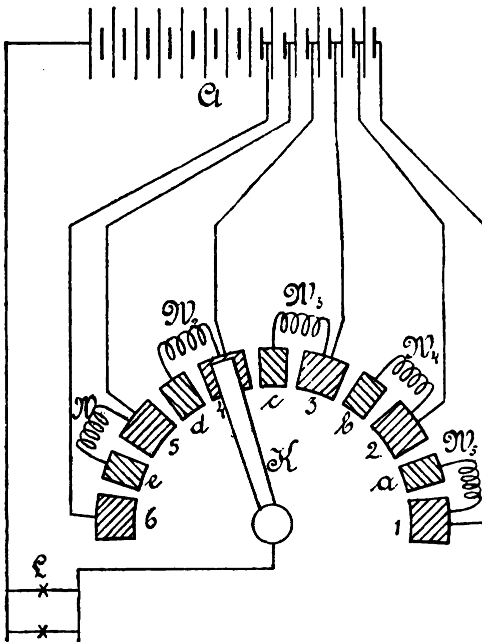


Fig. 49. Zellenschalter.
Widerstände zwischen den Kontakten.

Kontakte und der Zelle herbeiführen. Zur Vermeidung dieses Übelstandes erscheint dieser Zellenschalter mit den Hilfskontakten *a*, *b*, *c*, *d* und *e* und den Zwischenwiderständen W_1, W_2, W_3, W_4 und W_5 ausgerüstet. Das Gleitstück des Hebels *K* muss so breit sein, dass es die Lücken zwischen den Hauptkontakten 1, 2, 3, 4 und 5 und den Hilfskontakten *a*, *b*, *c*, *d* und *e* zu überbrücken vermag. Die Hauptkontakte müssen deshalb breiter sein, als die Hilfskontakte und als die Zwischenräume zwischen beiden. Befindet sich der Hebel *K* auf dem Kontakte 1, so ist die ganze Batterie eingeschaltet. Bewegt sich der Hebel von 1 nach *a*, so bleibt der Strom geschlossen, weil das Gleitstück des Hebels breiter ist, als der Zwischenraum zwischen 1 und *a*. Jetzt sind alle Zellen und der Zwischenwiderstand W_5 in den Stromkreis eingeschaltet. Da der Widerstand W_5 sehr klein ist, wird auch der durch denselben herbeigeführte Spannungsverlust sehr gering sein. Bewegt sich der Hebel von *a* nach 2, so wird er auch hier keine Stromunterbrechung herbeiführen, weil sein Gleitstück breiter ist, als der Zwischenraum zwischen *a* und 2 und weil sich der Zwischenwiderstand W_5 noch im Stromkreise befindet, kann die Zelle zwischen 1 und 2 nicht kurzgeschlossen werden. Die Widerstände W sind so bemessen, dass die Stromstärken keine unzulässigen Werte erreichen. Kommt das Gleitstück des Hebels *K* ganz auf den Kontakt 2, so erscheint die Zelle zwischen 1 und 2 abgeschaltet und die Spannung in der Leitung um rund zwei Volt vermindert. Der Zwischenwiderstand muss so bemessen sein, dass er bei der höchst zulässigen Stromstärke der Zelle die etwa zwei Volt betragende Spannung der Zelle tilgt. Dieser Widerstand ergibt sich ohne weiters aus dem Ohm'schen Gesetze. (I. Th. 1. B. S. 22.)

Beispiel: Die höchst zulässige Stromstärke eines Akkumulators sei 200 Ampère, die Spannung einer Zelle 2 Volt; wie groß muss der Zwischenwiderstand sein?

$$W = \frac{E}{J} = \frac{2}{200} = \frac{1}{100} \text{ Ohm.}$$

Das Material des Zwischenwiderstandes ist zumeist Neusilber von solchem Querschnitte, dass es sich nicht zu sehr erwärmt.

Ein anderes jedoch nicht so empfehlenswertes Aushilfsmittel um den Kurzschluss von Zellen beim Ab- oder Zuschalten derselben zu vermeiden, ist das, dass man in die Leitungen zwischen dem Zellenschalter und dem Sammler, also in p^1, a^1, p^2, a^2 u. s. w., je einen Widerstand legt, welcher so groß ist, dass er bei der für den Sammler als höchst zulässig angegebenen Stromstärke 1 Volt tilgt, so dass durch beide in Betracht kommende Drähte 2 Volt vernichtet werden. Zu diesem Zwecke

kann statt des sonst für elektrische Leitungen gebräuchlichen Kupfers ein anderes schlechter leitendes Metall z. B. Eisen für die Verbindungsleitungen gewählt werden. Bei dieser Anordnung ist jedoch ein beständiger Verlust von 1 Volt vorhanden und es erweist sich deshalb die erstgenannte Einrichtung mit dem im Zellenschalterhebel selbst liegenden Widerstand als am einwurffreiesten.

Wie oben angegeben wurde, ist durch Anwendung eines Doppelzellenschalters die Möglichkeit vorhanden, die geladenen Zellen abzuschalten.

Um nun den Wärter der Aufgabe zu entheben, jedesmal in den Sammlerraum zu gehen, um nachzusehen, ob die betreffende Zelle bereits geladen ist, rüstet die Akkumulatoren-Fabrik-Aktiengesellschaft ihre Doppelzellenschalter mit der Vorrichtung aus, welche Fig. 50 schematisch angibt. Hierdurch erscheint es möglich, im Maschinenraum selbst zu erkennen, ob die Ladung der betreffenden Zelle soweit vorgeschritten ist, dass dieselbe abgeschaltet werden kann. Selbstverständlich erhalten die Doppelzellenschalter auch die bei Fig. 48 angegebene Vorrichtung zur Verhinderung des Kurzschließens der Zellen, welche hier, als nicht in Betracht kommend, der Übersichtlichkeit halber fortgelassen wurde. Die Lage des Doppelzellenschalters entspricht genau der bei der Schaltung angegebenen Lage, so dass die Leitung *d s*, Fig. 50, nach der Klemme *A*, Fig. 47, des Maschinenumschalters führt.

An dem Hebel *c d*, mittels dessen man die geladenen Zellen abschaltet, befindet sich die seitliche Verlängerung *t c*. Auf dieser Verlängerung sind zwei Kontaktfedern isoliert befestigt, deren eine *q r* eine leitende Verbindung von der Klemme a^3 mit dem Schleifring *o p* herstellt, während die andere Feder *h i* von der Klemme a^4 nach dem Schleifring *m n* führt. An die beiden Schleifringe ist der Spannungszeiger *v* angeschlossen, so dass man an dem Letzteren die Spannung der Zelle e^3 ablesen kann. Zur Abschaltung liegt zunächst die Zelle e^2. Da aber die Zelle e^2 allgemein weniger entladen sein wird als e^3, so wird e^2 sicher geladen sein, wenn e^3 diejenige Spannung besitzt, welche die vollständige Ladung bedingt. Man kann alsdann den Hebel *c d* um einen Kontakt weiter rücken, so dass derselbe auf a^3 zu stehen kommt, wobei die Kontaktfedern gleichzeitig je einen Kontakt weiter rücken und auf a^4, beziehungsweise a^5 zu stehen kommen.

Dass man nicht die Spannung der zunächst zur Abschaltung gelegenen Zelle e^2, sondern diejenige ihrer weiter vom Ende entfernt liegenden Nachbarzelle e^3 misst, ist durch folgende Betrachtung begründet. Um bei der in Fig. 50 wiedergegebenen Stellung des Hebels

die Spannung der Zelle e^2 ablesen zu können, müsste man den Spannungszeiger v mit Klemme a^2 und a^3 verbinden, so dass die Übermittlung

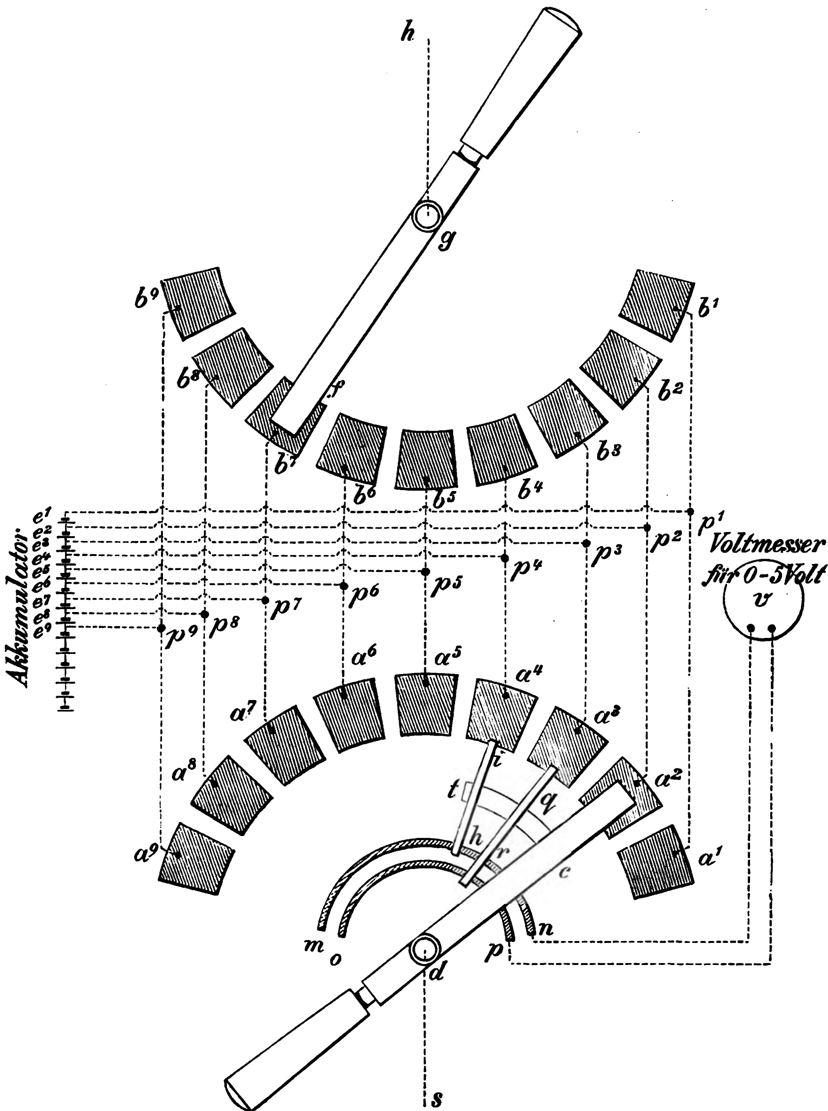


Fig. 50. Doppelzellenschalter.

der Spannung der Zelle e^2 durch die Leitungsdrähte e^2, p^2, a^2 und e^3, p^3, a^3 erfolgen würde. Durch den einen dieser Drähte, nämlich e^2, p^2, a^2 geht jedoch der Ladestrom, so dass man am Spannungszeiger

nicht allein die Spannung der Zelle e^2, sondern diese zuzüglich des Spannungsverlustes in dem bezeichneten Leitungsdraht abliest. Dieser Spannungsverlust hat bei verschiedenen Ladestromstärken verschiedene Werte, so dass die genaue Spannungsbestimmung ohne Zuhilfenahme einer Tabelle nicht durchführbar ist; deshalb wurde von dieser Anordnung abgesehen.

Ein anderes Aushilfsmittel wäre die Anordnung von Prüfdrähten, parallel zu den in der Fig. 50 angegebenen Leitungsdrähten.

Es dürften alsdann die Kontaktfedern $q\,r$ und $h\,i$ jedoch nicht mehr auf a^3, a^4 u. s. w. schleifen, sondern es müsste für diese ein besonderer kleiner Zellenschalter ausgeführt und zu dessen Klemmen die Prüfdrähte geführt werden. Die Umständlichkeit dieser Anordnung wurde jedoch durch das oben angeführte Aushilfsmittel umgangen.

Außer dem Einwand, dass man bei der Ausführung nach Fig. 49 nicht die Spannung der zur Zeit der Abschaltung vorliegenden Zelle, sondern diejenige ihrer Nachbarzelle abliest, ist noch folgender Einwand gegen diese Anordnung zu erheben: Steht z. B. der Hebel $f\,g$ nicht, wie in der Zeichnung angegeben, auf Klemme b^7, sondern auf b^4, so erscheint, wenn in der Lichtleitung während des Ladens Strom verbraucht wird, der eine nach der Kontaktfeder $i\,k$ die Spannung übermittelnde Leitungsdraht e^4, p^4, a^4 vom Strom durchflossen, wodurch ebenfalls der Spannungszeiger nicht allein die Spannung der Zelle, sondern diese vermehrt um den, durch den Strom in dem betreffenden Leitungsdraht hervorgerufenen Spannungsverlust, anzeigt. Dieser Fall tritt immer ein, wenn der Hebel $f\,g$ dem Hebel $c\,d$ um einen oder zwei Kontakte voreilt. Es lässt sich jedoch alsdann, entweder durch Vorschiebung des Hebels $f\,g$ nach der Mitte der Zellen oder Zurückschiebung des Hebels $c\,d$ nach dem Ende der Zellen, die wahre Spannung des Elementes leicht ermitteln.

Die Spannung, bei welcher die betreffenden Zellen die vollzogene Ladung anzeigen, wird am besten durch genaue Beobachtung an Ort und Stelle festgestellt und von Zeit zu Zeit wieder auf ihre Richtigkeit geprüft, da es vorkommen kann, dass im Laufe der Zeit Veränderungen in der Angabe des Spannungszeigers eintreten.

Der Hebel $c\,d$ darf nur, wenn dies beim Abschalten der geladenen Zellen erforderlich erscheint, nach und nach soweit vorgeschoben werden, bis er dem Hebel $g\,f$ gegenübersteht; ein Voreilen des Hebels $c\,d$ über $g\,f$, in der Richtung nach der Mitte der Zellen hinaus, ist nicht gestattet, weil sich sonst die zwischen $c\,d$ und $f\,g$ liegenden Zellen schon mit dem für die Lichtleitung zur Zeit erforderlichen Strome entladen.

Zellenschalter System Erlach & Besso der Fabrik elektrischer Apparate, A.-G. Aarburg (Schweiz).[1])

Es ist seit langem das Bestreben der Installateure von Akkumulatorenanlagen, eine Schaltung zu finden, welche gestattet, die Zahl der Verbindungsleitungen zwischen Batterie und Schalttafel zu reduzieren. Wie sehr dieses Bestreben gerechtfertigt ist, beweist eine kleine Überlegung. Eine Batterie für 125 Volt erfordert rund 24 Regulierzellen mit 26 Verbindungsleitungen. Ist die normale Stromstärke der Batterie 200 Amp., so ist nach den Vorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker der Querschnitt jeder Verbindungsleitung mit 120 mm^2 anzunehmen. Und da Batterie und Regulierapparat sich meist in getrennten Räumen befinden, wird es selten möglich sein, die Leitungen kürzer als 10 *m* durchschnittlich zu wählen.

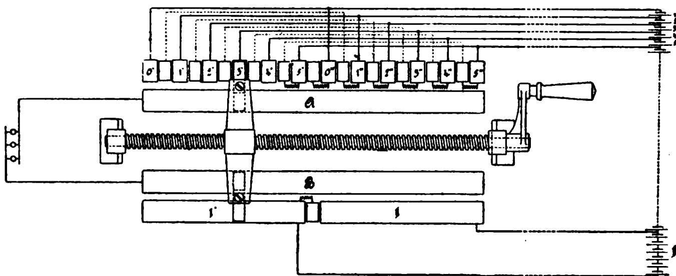


Fig. 51. Einfachzellenschalter.

Aus diesen Zahlen ergibt sich ein Kupferaufwand von 280 *kg*, oder, das *kg* zu Fr. 2.50 gerechnet Fr. 700. Nach gemachten Erfahrungen sind die übrigen Kosten der Installation dieser 25 Leitungen mit mindestens dem gleichen Betrage einzusetzen, so dass sich ein Gesammtaufwand von Fr. 1400 ergibt. Der in Folgendem beschriebene Zellenschalter gestattet nun eine ganz erhebliche Reduktion der Verbindungsleitungen. Die Figur 51 macht das Prinzip desselben leicht verständlich.

Es ist dabei angenommen, dass der in bekannter Weise wirkende Schleifkontakt (Schlitten) durch eine Spindel in gerader Linie über die Anschlusskontakte bewegt wird. Die Schienen *A* und *B* dienen als Strom Zu- oder Ableitung. Zwischen die Schienenstücke I und II ist die ungetheilte Gruppe II' geschaltet. Den Schienenstücken gegenüber liegen die, durch Luftzwischenräume und Metallstücke getrennten

[1]) Nach einer Originalbeschreibung dieser Firma, welche mir von den Herren Lehmann & Co. in Wien (Vertreter für Österreich-Ungarn) zur Verfügung gestellt wurde.

Anschlusskontakte 0' bis 5' und 0" bis 5", zwischen welche in leicht ersichtlicher Weise die Zellen 1 bis 5 als Gruppe I geschaltet sind.

In der Stellung bei 0' sind sämmtliche Regulierzellen im Stromkreise. Indem der Apparat bethätigt wird, bewegt sich der Schlitten zunächst von 0' nach 5'. Hierbei werden succesive die Zellen 1 bis 5 abgeschaltet, und demnach die Spannung des Stromkreises stufenweise reguliert.

Beim Übergang von 5' nach 0', resp. von I' nach II' findet dagegen Folgendes statt. Die Zellen 1 bis 5 werden insgesammt wieder eingeschaltet, dagegen die Gruppe II im gleichen Augenblicke ausgeschaltet. Und da die Zahl ihrer Zellen um 1 größer ist als die Zahl

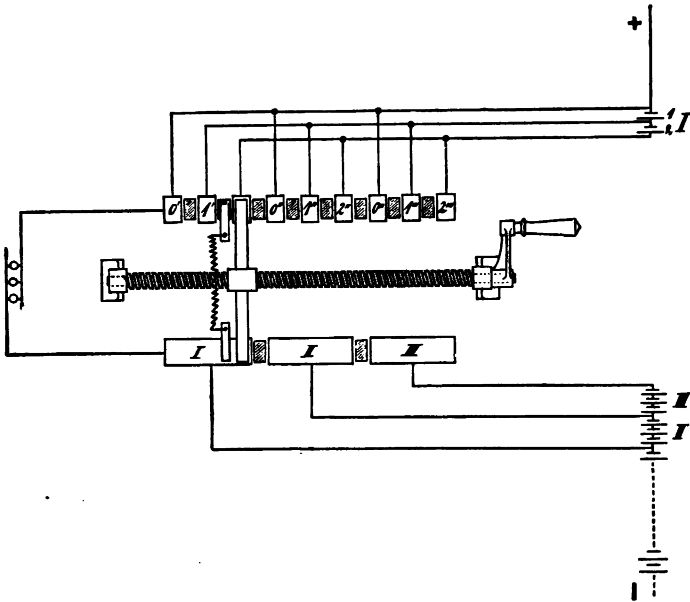


Fig. 52. Einfachzellenschalter. Vereinfachte Schaltung.

der Einzelzellen der Gruppe I, wird also auch bei dieser Bewegung eine Abstufung um eine Zelle erzielt. Von der Stellung bei 0" aus können alsdann die Zellen 1 bis 5 wieder nach und nach eingeschaltet werden. Es ist augenscheinlich, dass bei dieser Anordnung die Zahl der ungetheilten Gruppen beliebig vermehrt werden kann, wobei für jede weitere Gruppe nur immer eine Verbingungsleitung hinzukommt.

Es erfordern demnach Schalter für 24 Regulierzellen nur 10 Verbindungsleitungen.

Wie bei andern Zellenschaltern sind auch bei dem vorliegenden Verkehrungen zu treffen, um beim Übergang der Schleiffeder von einem

Kontakt zum nächsten eine Unterbrechung des Stromes sowohl, als Kurzschluss einzelner Zellen zu verhindern. Zu diesem Zwecke sind zwischen die Haupt- und die Zwischenkontakte Widerstände eingefügt, wie dies auch bei andern bekannten Zellenschaltern üblich ist. Dagegen ist bei dem vorliegenden Zellenschalter auch die Zahl der Zwischenwiderstände geringer, als die Zahl der Regulierzellen.

Eine Vereinfachung dieser Schaltung ergibt sich und findet Anwendung auf diesen Einfachzellenschalter, wenn man die Schienen *A* und *B* der Figur 51 eliminiert und die Zellen nach Figur 52

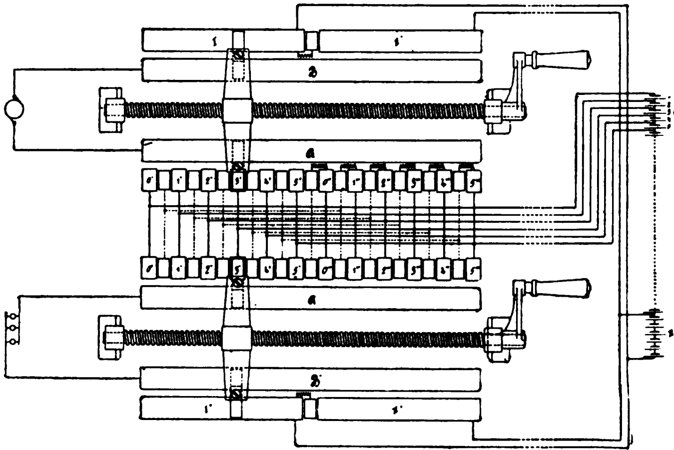


Fig. 53. Doppelzellenschalter.

schaltet. Dadurch ist zugleich die Möglichkeit gegeben, einen einzigen Widerstand, der fahrbar angeordnet ist zu verwenden. Die Kombination von zwei der oben nach Figur 51 beschriebenen Einfachzellenschalter ergibt ohne weiteres einen Doppelzellenschalter, Figur 53, an welchem einerseits der Ladestromkreis, anderseits der Verbrauchsstromkreis angeschlossen wird. Es leuchtet ohne weiteres ein, dass sich diese Anordnung auch ins Runde übersetzen lässt. Schematisch ist dies in Figur 54 dargestellt. Die beiden Theile, die hier der Übersicht halber nebeneinander gezeichnet sind, werden in Wirklichkeit übereinander auf ein und dieselbe Achse montiert.

An die Kontaktbahn des Schalters *A* sind die Einzelzellen 1 bis 5 angeschlossen. Der zweiseitige Schleifkontakt *a* verbindet jeweilen einen Kontakt mit dem Halbring *A*, so dass durch seine Bewegung im Sinne des Uhrzeigers, 0′ bis 5′ nacheinander mit *A* verbunden, und somit die Einzelzellen 1 bis 5 succesive abgeschaltet werden.

A heißt deshalb der Einzelzellenschalter, während obige Firma *B* als Gruppenschalter bezeichnet.

B besitzt ähnliche Konstruktion wie *A*, aber durch die Bewegung seines Schleifkontaktes *B* im gleichen Sinne werden die Gruppen II bis IV abgeschaltet. In der Anfangstellung, wenn *a* auf 0' und *b* auf I' liegt, befinden sich sämmtliche Regulierzellen im Stromkreise. Der Apparat ist nun derart gebaut, dass durch Antrieb des Schalthebels oder des Handrades (in der Zeichnung nicht angegeben) zunächst nur der Schleifkontakt *a* bethätigt wird, während *b* auf I' stehen bleibt. Es können demnach die Einzelzellen 1 bis 5 in bekannter Weise abgeschaltet werden. Wenn *a* auf 5' ankommt, um die weitere Bewegung zu machen, wird er durch eine sehr einfache Vorrichtung mit *b* gekuppelt, und macht alsdann die folgende Bewegung mit diesem gemeinschaftlich. Das heißt in dem Augenblicke, in welchem die gesammte Gruppe I mit 5 Zellen eingeschaltet wird, wird auch die Gruppe II mit 6 Zellen abgeschaltet, und demnach, wie oben, ein Sprung um eine Zelle erzielt. Der Schleifkontakt *b* bleibt nunmehr in dieser Stellung wiederum stehen, bis *a* zum zweitenmale auf 5' angekommen ist, und so fort, bis *a* das viertemal seine Kontaktbahn bestrichen hat und *b* auf IV angelangt ist, über welche Stellung hinaus er sich nicht bewegen lässt. Beim Zuschalten von Zellen findet der umgekehrte Vorgang statt. Die Anwendung dieses Prinzipes auf Doppelzellenschalter ergibt sich ohne weiteres aus Figur 55, welche die Schaltung für 19 Zellen zeigt.

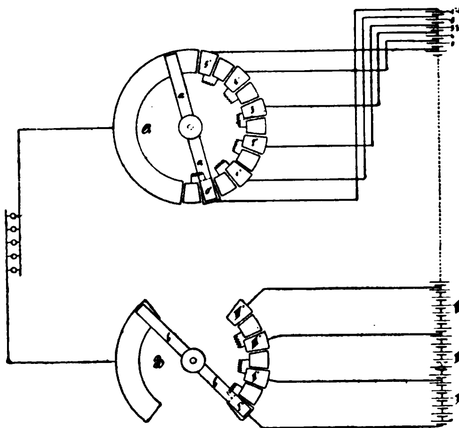


Fig. 54. Doppelzellenschalter. Kreisförmige Anordnung der Kontakte.

Durch die beschriebene Anordnung wird demnach eine ganz bedeutende Ersparnis an Leitungsmaterial und Installationsarbeit erzielt.

Für den oben erwähnten Doppelzellenschalter von 200 Amp. und 24 Regulierzellen beträgt dieselbe, nämlich, da 16 von 26 Verbindungsleitungen erspart werden

$$\frac{16}{26} \cdot 1400 = \text{Fr. } 860.$$

Für verschiedene Typen von Zellenschaltern, bei verschiedenen Längen der Verbindungsleitungen hat die Fabrik elektrischer Apparate A.-G. eine Ersparnis von 50 bis 300 % des Zellenschalterpreises gefunden.

Seit diese Firma die Zellenschalter an die Öffentlichkeit gebracht hat, hatte sie mannigfache Gelegenheit, die Konstruktion derselben zu vereinfachen und zu verbessern.

Was den Einfachzellenschalter anbelangt, so fand sich, dass die mit der Fig. 52 sich deckende Ausführungsform die einfachste und billigste und für alle Stromstärken und Spannungen gleich gut geeignet ist. Etwas schwieriger gestalten sich die Verhältnisse beim Doppelzellenschalter. Hier galt es zu verhüten, dass aus Unachtsamkeit beim Laden, wenn zugleich Strom entnommen wird, einzelne Zellen zwischen den Lade- und Entladehebel gerathen, derart, dass diese Zellen entladen werden, während sie geladen werden sollten.

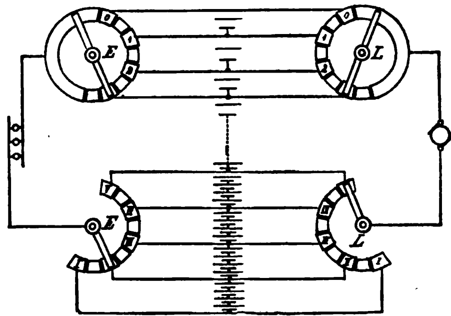


Fig. 55. Doppelzellenschalter.

Bei den Typen unter 400 Ampère, die wie die Einfachzellenschalter mit Spindelbewegung derselben Firma ausgeführt werden, ist diese Gefahr bei einiger Aufmerksamkeit leicht zu vermeiden. Die aufrecht auf der Platte stehenden Kontakte sind nämlich fortlaufend numeriert. Die Stellung der Bürsten kann deshalb jeden Augenblick kontrolliert werden. Um entsprechend der unten für größere Apparate gegebenen Anweisung laden und entladen zu können, sind die Nummern, welche auf den Anfang der Gruppen fallen, besonders hervorgehoben.

Die Doppelzellenschalter von 400 Ampère und aufwärts verfertigt die Fabrik elektrischer Apparate A.-G. nach dem Schema Fig. 55. Das Äußere eines solchen Apparates für 500 Ampère und 19 Regulierzellen zeigt Fig. 56.

Diese Apparate werden durch Schnecken und Schneckenräder angetrieben, die durch Kurbeln in Bewegung gesetzt werden. Die Schnecken sitzen auf parallelen Spindeln, welche die Bewegung der Schnecken mitmachen und hierbei Muttern, die auf einer gemeinsamen Führungsstange gleiten, vor- oder rückwärts schieben. Auf der Führungsstange ist eine Skala angebracht, sodass bei jeder Stellung der beiden Muttern genau abgelesen werden kann, welche Gruppen und Einzelzellen sich im Lade- oder Entladestromkreis befinden. Durch diese

Anordnung wird gleichzeitig verhindert, dass der Entladehebel hinter den Ladehebel gerathen kann, da die beiden Muttern nicht nebeneinander vorbei können.

Der Vorgang der Ladung gestaltet sich alsdann unter Beobachtung der im Schaltungsschema Fig. 54 und in der Fig. 56 angegebenen Zahlen folgendermaßen:

In der Anfangsstellung, wenn der Gruppenhebel auf I und der Zellenhebel auf 0 einsteht, befindet sich die entsprechende Mutter bei I der Skala. Sämmtliche Zellen sind eingeschaltet. Die erste Gruppe, die am schwächsten entladen ist, wird zuerst gasen und muss deshalb zuerst abgeschaltet werden. Man erkennt dies am Spannungszeiger der mittels Stöpsels an den Klemmen I und II angeschlossen ist. Die Kurbel des Ladehebels wird also gedreht, bis der Gruppenhebel auf II einsteht, was an der Skala abgelesen wird. Durch die Konstruktion des Apparates ergibt sich von selbst, dass alsdann der Zellenhebel wieder auf 0 einsteht. Die Einzelzellen werden also weiter geladen. Der Spannungszeiger wird auf II und III gesteckt. Es ist leicht zu ersehen, dass während dieser ganzen Zeit der Entladehebel beliebig eingestellt werden kann, dagegen ist es unmöglich, die vom Ladehebel abgeschaltete Gruppe zu entladen.

Nachdem auch die II. Gruppe geladen ist, wird weiter gekurbelt und so die dritte und vierte Gruppe aufgeladen. Während dieser Zeit bleiben die Einzelzellen immer auf Ladung geschaltet, was durchaus in der Ordnung ist, da sie im allgemeinen von allen Regulierungszellen am stärksten entladen werden. Immerhin kann man ihren Zustand von Zeit zu Zeit untersuchen, indem man den Spannungszeiger auf die mit 0 bis 3 bezeichneten Klemmen steckt. Stellt sich heraus, dass einzelne Zellen auf der linken Seite der Batterie am Ende des oben beschriebenen Vorganges noch nicht vollauf geladen sind, so können sie in der Folge succesive aufgeladen werden, indem man von V auf 1, 2 und 3 kurbelt. Sollten sie aber schon vollends geladen oder gar überladen sein, ehe die letzten Gruppen geladen sind, so wäre statt auf III, IV oder V jeweils auf die, diesen Zeichen folgenden Zahlen 1, 2 oder 3 einzustellen. Dies wird aber, der Natur der Sache nach höchst selten vorkommen und das Laden sich so einfach, wie oben beschrieben gestalten.

Neuerdings zieht die obige Firma fortlaufende Numerierung wie bei den Apparaten unter 400 Amp. der Übersichtlichkeit wegen vor.

Die Entladung geschieht ohne alle Vorsichtsmaßregeln genau wie mit einem gewöhnlichen Zellenschalter nach dem Spannungszeiger. Eine Komplikation oder gar eine Gefährdung des Betriebes ist dem-

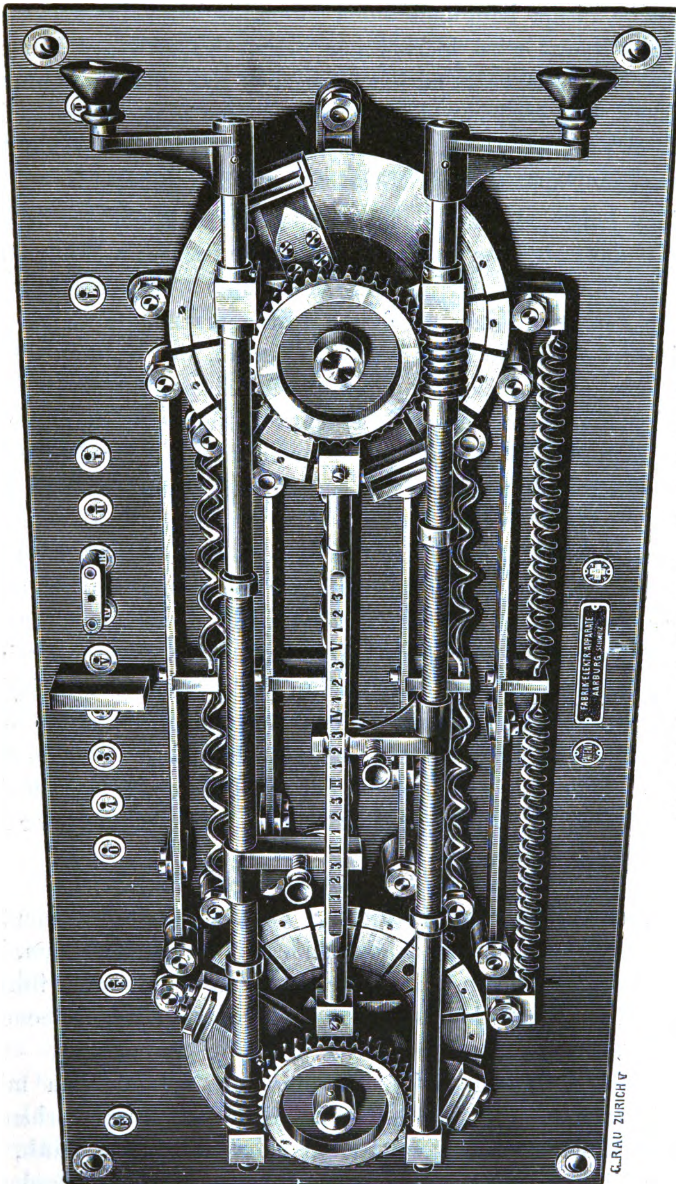


Fig. 56. Doppelzellenschalter für 500 Ampère.

nach mit diesem Zellenschalter nicht zu befürchten; jedenfalls sind die Störungen, welche z. B. aus einer, bei jeder mit Doppelzellenschalter ausgerüsteten Batterie, möglichen falschen Umschalterstellung entstehen können, viel bedeutender und häufiger, als die bei diesem Zellenschalter aus Unachtsamkeit eventuell sich ergebenden Störungen.

Dieselbe Firma baut auch einen automatischen Doppelzellenschalter. Der Entladeapparat wird hierbei von einem hinter einer Marmorplatte befindlichen Elektromotor mittels konischer Zahnräder, Schnecke und Schneckenrad angetrieben. Die Steuerung des Motors geschieht durch ein Relais in Verbindung mit einem Quecksilberschalter. Beide Apparate sind in runden Gehäusen mit Glasabschluss untergebracht.

Bei zu hoher oder zu niedriger Spannung schließt das Relais einen Stromkreis, der entweder die Spule links oder rechts im Motorumschalter erregt. Da dieser Stromkreis eine Spannung von höchstens 20 Volt hat, ist die Funkenbildung an den Platinkontakten des Relais sehr gering. Die erregte Spule zieht einen Anker an, der an dem die Quecksilberkontakte einschließenden beweglichen Ebonitgehäuse befestigt ist, so dass dieses sich mit dem Anker bewegt und entweder rechts oder links den Motorstromkreis schließt. Dadurch wird der Motor, in dem der beabsichtigten Schalterbewegung entsprechenden Sinne in Funktion gesetzt.

Um zu verhüten, dass der Schleifkontakt des Entladers in einer Zwischenstellung stehen bleibt, ist der Motorumschalter mit einer Sperrung versehen, welche ein Zurückfallen desselben bei vorzeitiger Kontaktunterbrechung am Relais verhindert. Diese Sperrung wird durch eine im Umschaltergehäuse angebrachte dritte Spule magnetisch ausgelöst, indem durch eine auf der Welle des Schleifkontaktes montierte Kontaktscheibe ein, diese Spule erregender Stromkreis geschlossen wird, und zwar in dem Augenblicke, wo der Schleifkontakt sich in der richtigen Stellung befindet. Im gleichen Augenblick wird auch der Antriebsmotor magnetisch gebremst.

65. Aufstellung der Sammler. Die Räume, in welchen Sammler zur Aufstellung kommen, sind abzusondern und gut zu lüften, da beim Laden große Mengen von Gasen, welche Säuren mit sich führen, entwickelt werden. Diese Gase sind für den Organismus des menschlichen Körpers schädlich.

Tritt man in einen nicht durchlüfteten Sammlerraum mit einem offenen Lichte ein, dann ist die Gefahr einer Explosion vorhanden.

Die Sammler werden zumeist auf eine gemauerte Bank, auf ein Holz- oder Eisengestell mit mehreren Neben- und übereinander befindlichen Abtheilungen aufgestellt, jedoch so, dass dieselben behufs Prüfung und Untersuchung bequem zugänglich sind.

Besondere Sorgfalt erfordert die Isolation des Sammlers von der Erde. Die bei der Gasentwickelung mitgerissene Säure bedeckt auch die Außenfläche der Gefäßwände. Die so entstehende Flüssigkeitsschich

bildet, infolge der großen Oberfläche der sämmtlichen Zellen eine erhebliche Fehlerquelle der Isolation. Man beseitigt diesen Fehler durch das Aufstellen der Gefäße auf Porzellan- und andere Isolatoren.

Schaltapparate und Messinstrumente sollen außerhalb des Sammlerraumes aufmontiert werden, da die Säure auf die Metallbestandtheile derselben oxydierend wirkt. Die blanken Kupferleitungen sind aus demselben Grunde mit Ölfarbe anzustreichen.

66. Anwendungen des Sammlers. Der Sammler hat hauptsächlich den Zweck, die Erzeugung der Elektricität sicher und wirtschaftlich zu gestalten. Die wichtigsten Fälle, in denen die Sammler praktische Verwendung finden, sind folgende:

1. Die Ansammlung des Stromes, um denselben nach dem Maschinenbetriebe zu verwenden. Dieser Fall wird sich insbesondere dann als praktisch erweisen, wenn der Stromverbrauch großem Wechsel unterliegt. Zur Zeit des geringen Stromverbrauches arbeitet die Maschinenanlage nicht mehr wirtschaftlich; man speist dann Lampen, Motoren u. s. w. von dem Sammler aus. Eine besondere Ersparnis tritt hier auch durch den Wegfall jeder Bedienung ein.

2. Die Ansammlung der Elektricität einer überzählig vorhandenen Betriebskraft behufs späterer Ausnützung im Falle des Bedarfs. In diesem Falle arbeiten, während des stärksten Betriebes, Dynamo und Sammler in Nebeneinanderschaltung, den schwachen Betrieb übernimmt der Sammler allein.

3. Die Erreichung eines vollkommen ruhigen und gleichmäßigen Lichtes.

4. Die Ermöglichung eines praktischen Betriebes bei einer gleichmäßigen Betriebskraft durch das Laden des Sammlers zur Zeit schwächeren Betriebes.

5. Die Erzielung eines andauernden Betriebes, z. B. bei Kesselanlagen. Das kostspielige Anheizen der Kessel kann in Sammlerbetrieben eingeschränkt werden.

6. Die Kraftübertragung mittels elektrischer Bahnen, Boote u. s. w.

7. Die Herstellung einer gleichmäßigen Betriebsspannung. Bei unregelmäßigem Gange des die Dynamo antreibenden Motors, gleicht der Sammler die, durch den unregelmäßigen Gang, verursachten Schwankungen des Lichtes aus. Der Nutzstromkreis wird in diesem Falle von der Dynamo und dem Sammler in Nebeneinanderschaltung oder nur von dem Sammler gespeist.

8. Die Umsetzung von Gleichstrom für Beleuchtung, Kraftübertragung, elektrochemische und andere Zwecke.

9. Die Sicherung des Betriebes gegen Störungen. Im Falle des Versagens der Dynamo übernimmt der Sammler, ohne jede Störung, den Betrieb. Aushilfsmaschinen sind nicht erforderlich.

10. Die Erhöhung der Lebensdauer der Glühlampen. Bei Anlagen mit Sammlern sind starke Schwankungen in der Spannung, welche für die Lebensdauer der Glühlampe schädlich sind, ausgeschlossen.

11. Die Anwendung des Sammlers in der Telegraphie in großen Ämtern und dort, wo der Widerstand der Batterie sehr klein sein muss.

12. Die Verwendung des Sammlers als Normalelement. Da der Sammler lange Zeit hindurch gleiche Spannung hält, findet derselbe als Normalelement, bei den genauesten Messungen, vortheilhafteste Verwendung.

13. Eine kleinere Dynamo genügt für einen größeren Betrieb. Der Sammler ermöglicht in diesem Falle eine außerordentliche Ausnützung der vorhandenen elektrischen Anlage. Erweiterungen des Betriebes sind ohne Vergrößerung der maschinellen Anlage möglich.

14. Die Anwendung eines bedeutend schwächeren (billigeren) Leitungsnetzes bei zweckmäßiger Einrichtung desselben.

67. Nachtheile der Sammler. Die wichtigsten Nachtheile der Sammler sind:

1. Die hohen Anschaffungskosten.

2. Der Verlust an elektrischer Arbeit durch die Umsetzung derselben in dem Sammler.

3. Die Umständlichkeit des Betriebes.

II. Praktische Konstruktionen.

68. Sammler mit massiven Platten.

1. Der Sammler von Planté (1859), Fig. 57 bis 59. Die Bleiplatten, Fig. 57 und 58, werden, durch Kautschukbänder voneinander getrennt, auf einem Hohlcylinder zu einer Spirale, Fig. 58, aufgerollt. Nach dem Aufrollen entfernt man den Hohlcylinder. Die Bleirollen halten durch gekreuzte Stäbe aus Guttapercha, an den Stirnflächen der Rolle, zusammen. Fig. 59 stellt den fertigen Sammler dar. Die Bleirolle befindet sich in einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Glasgefäße.

2. Der Sammler von Tudor (Akkumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft, System Tudor, vormals Müller & Ein-

beck, Hagen i. W.),[1]) Fig. 60 bis 64. Die Elektroden werden in eisernen Formen aus einem Stücke gegossen.

Die positive Elektrode hat die in Fig. 60 abgebildete Gestalt. Diese Figur gibt die kleinste Type in $^1/_4$ der natürlichen Größe wieder. Im Vergleiche mit der älteren Konstruktion hat die neue Elektrode eine bedeutend größere wirksame Oberfläche. Die rohe Bleiplatte erscheint von vielen horizontal laufenden, tiefen Rinnen durchsetzt; letztere stehen 1·5 *mm* von einander ab und dringen auf beiden Seiten der Platte 5 bis 5·5 *mm* tief in dieselbe ein. Fig. 61, *A A*, zeigt einen senkrechten Schnitt durch die positive Platte, senkrecht zur Plattenoberfläche; derselbe sieht sowie ein Kamm aus. Die Dicke des inneren, massiven Kernes der Platte beträgt etwa 1·5 *mm*. Aus den angeführten Abmessungen ergibt sich als äußere Dicke, gemessen zwischen den Spitzen der beiderseitigen Kämme, rund 12 *mm*. Zur Versteifung der Platten dient zunächst ein fester Rahmen, welcher die Platte umgiebt und des weiteren eine Anzahl dünner Rippen, Fig. 61, *B B*; durch letztere wird der Verlauf der horizontalen Rinnen unterbrochen, so dass sich aus den durchlaufenden Nuten, schmale, tiefe Gruben bilden. Diese senkrechten Rippen sind nicht ganz 10 *mm* von einander entfernt, an der Plattenoberfläche noch nicht 0·5 *mm* stark und verdicken sich nach Innen bis auf etwa 1·5 *mm* Fig. 62, *B B*, stellt einen Horizontalschnitt, welcher senkrecht zur Plattenoberfläche durch eine der Nuten geführt wurde, dar. Die geschnittenen Rippen und der innere Bleikern sind schraffiert.

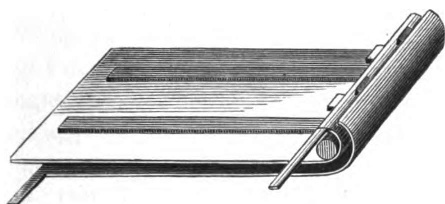


Fig 57.
Bleiplatten durch Kautschukbänder getrennt.

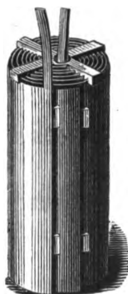


Fig. 58.
Bleiplattenrolle.

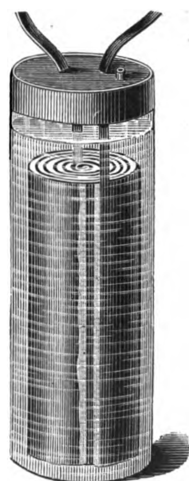


Fig. 59. Bleiplattenrolle in verdünnter Schwefelsäure.

---

[1]) Authentische Messungen über diesen Sammler wurden von Otto Berner, Gustav Conz, Wilhelm Peukert und Voller ausgeführt. Mittheilungen über denselben Sammler, welchen ich auch auf der Weltausstellung in Paris 1900 gesehen habe, verdanke ich Herrn Direktor Ludwig Gebhard (Wien).

An jede Platte sind an den oberen Ecken Ansätze, sogenannte Fahnen, *FF*, Fig. 60, angegossen; sie sind rechtwinklig nach außen umgebogen und dienen zum Aufhängen der Platten. Der Fortsatz *S* ermöglicht die Verbindung der Platten gleicher Polarität. Die positiven

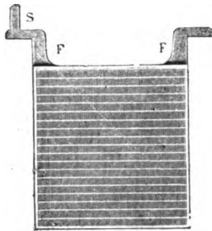


Fig. 60.
Positive Tudorplatte.

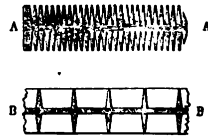


Fig. 61. Zwei aufeinander senkrechte Schnitte durch die positive Tudorplatte.

rohen Bleiplatten erhalten nur eine $1^1/_2$ bis 2 Monate dauernde Formierung nach Planté und besitzen keine Füllmasse. Als negative Platten kommen Gitterplatten in Verwendung. Dieselben bestehen aus sich kreuzenden, ebenfalls aus einem Stücke gegossenen Stäbchen; zwischen diesen befinden sich Öffnungen. Die meisten Stäbchen verlaufen horizontal und stehen 4 *mm* von einander ab. An der Außenfläche der Platte sind diese Stäbchen etwa 0·7 *mm* stark; sie verdicken sich nach Innen bis auf etwa 1·5 *mm*.

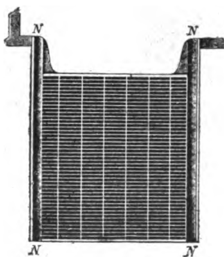


Fig 62.
Negative Tudorplatte.

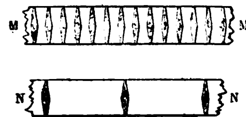


Fig. 63. Zwei aufeinander senkrechte Schnitte durch die negative Tudorplatte.

Der Abstand der senkrechten Rippen beträgt etwa 22 *mm*. Der Querschnitt derselben ist ebenso groß und nach innen zunehmend, wie jener der horizontalen Rippen. Die lichte Weite der zwischen den Gitterstäben verbleibenden rechteckigen Öffnungen beträgt 21×3 *mm*², die Dicke der Platte zwischen den Außenkanten der Rippen auf beiden Seiten gemessen 10 bis 11 *mm*. Fig. 62 stellt eine negative Platte dar. Fig. 63 gibt zwei senkrecht zur Plattenebene geführte Schnitte durch die rohe negative Platte wieder. Der verticale Schnitt, Fig. 62, *MM*,

schneidet die horizontalen Rippen und veranschaulicht die senkrechten in Ansicht, der horizontale Schnitt, Fig. 62, *MM*, schneidet die senkrechten Rippen und gibt die horizontalen in Ansicht wieder.

Die negative Platte besitzt zur Versteifung an der oberen und unteren Kante einen Rand von etwa 2 *mm* Breite. Der Rand an den Seitenkanten misst 13 bis 15 *mm* und ist auf der Vorder- und Rückseite der Platte mit einer tiefen bogenförmigen Nut, *MM*, versehen; die letztere hat eine Breite von 12 *mm* und eine Tiefe von etwa 3 *mm*. Diese Nuten haben den Zweck, Glasröhrchen, welche die aufeinanderfolgenden Platten auseinander halten, eine Führung zu geben. Auch die negative Platte trägt an den oberen Ecken angegossene Fahnenansätze. In die Öffnungen der Bleigitter der negativen Platten wird ein breiiges Gemisch aus Bleiglätte und verdünnter Schwefelsäure fest eingestrichen. Diese Füllmasse wird jedoch zuerst durch bestimmte Zusätze, nach einem von der Firma nicht bekanntgegebenen Verfahren, porös gestaltet. Die Poren erfüllen die folgenden Zwecke:

1. Erleichterung der Durcharbeitung der aktiven Masse durch den Strom.

2. Vermeidung des Herausquellens aus den glatten Öffnungen bei starker Gasbildung.

3. Verhinderung des bei alleiniger Anwendung von Bleiglätte vorgekommenen Zusammensintern, Schrumpfen und Hartwerden des Schwammbleies, sämmtlich Ursachen der Abnahme der Kapazität. Die negativen Platten werden nach dem Trocknen einige Zeit in verdünnte Schwefelsäure getaucht, ein Formieren derselben in der Fabrik findet nicht statt. Sobald die Platten dann wieder an der Luft trocknen, wird die Füllmasse fest. In diesem Zustande verschickt die Firma die Platten. Die Umwandlung der Masse in Bleischwamm erfolgt erst bei der erstmaligen, langdauernden Ladung der fertig aufgestellten Batterie. Die obigen Platten gehören für Batterien mit einer normalen Entladung von mindestens 3 Stunden Dauer. Bei einer solchen Entladung beträgt die Stromdichte 1·31 Ampère für 1 dm^2 der aus den äußeren Abmessungen berechneten beiderseitigen Oberfläche der positiven Platten. 1·31 Ampère ist gleichzeitig die maximale Stromdichte für die Ladung. Im Gegensatze zu diesen Baterien baut die obige Firma für Entladungen bis zu 1 Stunde herab Batterien für starke Entladung. Hierzu werden dieselben positiven Platten verwendet, jedoch länger formiert. Das Bleigitter der negativen Platten dagegen besitzt, um die wirksame Oberfläche zu vergrößern, engere Maschen, als die obige Konstruktion.

Der Abstand der horizontal verlaufenden Rippen beträgt 3 *mm*, jener der senkrechten 20 *mm*; es ergibt sich somit als lichte Öffnung

der Maschen 19 × 2 mm^2. Diese Platten sind nur 8 *mm* dick. Die äußere Form derselben, der Querschnitt der Rippen und die Füllung sind bei den Zellen langer und schneller Entladung einander gleich. Die letzteren Platten entladet die genannte Firma in einer Stunde mit maximal 2·65 Ampère für 1 dm^2; sie werden in den folgenden Größen gegossen:

Type	Höhe	Breite
E_1	182 *mm*	168 *mm*,
E_2	345 „	170 „
E_3	365 „	350 „ .

Zur Herstellung von Platten von noch größerer Oberfläche setzt man zwei Platten der größten Type senkrecht untereinander und verschmilzt durch Bleilöthung den unteren Rand der oberen mit dem oberen Rand der unteren. Die Platten haben dann eine Höhe von 730 *mm* und eine Breite von 350 *mm*. Die größten zur Zeit gebauten Elemente bestehen aus zwei solchen, horizontal nebeneinander befindlichen Doppelplatten, deren Bleifahnen miteinander verlöthet sind. Die so erhaltenen Platten haben dann eine Höhe von 730 *mm* und eine Breite von etwa 700 *mm*.

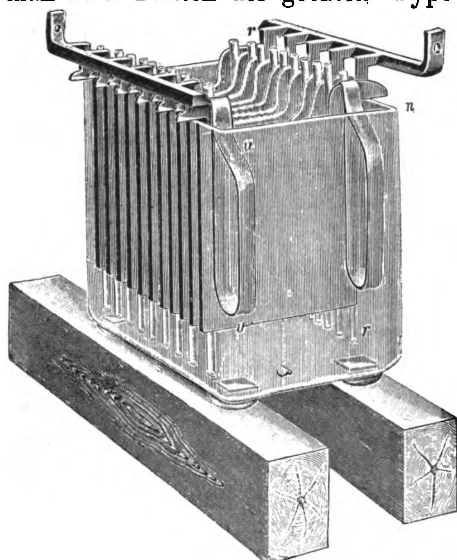


Fig. 64. Tudorzelle in einem Glasgefäße.

Die Gefäße, in welchen die einzelnen positiven und negativen Platten zu fertigen Elementen aufgebaut werden, bestehen bei den kleinen Typen bis zu 500 Ampèrestunden Kapazität bei dreistündiger Entladung aus Glas. Bei den größeren Typen benützt man säurebeständige, imprägnierte, an den Seitenkanten solid verzapfte Holzkästen, welche innen und an dem oberen Rande mit einem 1 *mm* starken Bleiüberzuge ausgekleidet sind. Auch die Typen für 540 und 432 Ampèrestunden werden ab und zu mit Holzkästen versehen. Die Platten sind in diesen Behältern aufgehängt. Unterhalb derselben verbleibt noch ein 80 bis 100 *mm* tiefer freier Raum über dem Boden des Gefäßes. Die Aufhängung geschieht an den bereits genannten Fahnen. Bei den Zellen mit Glasgefäßen, Figur 64, werden die Fahnen unmittel-

bar auf den Gefäßrand aufgehängt, bei Holzkästen finden zu diesem Zwecke besondere, gläserne Stützscheiben Verwendung. Das Glasgefäß besitzt am Boden vier Vertiefungen, welche nach außen als Füße vorspringen.

Einerseits der Zelle werden sämmtliche negative, andererseits derselben sämmtliche positive Platten mittels ihrer Fahnen an einer gemeinsamen Bleileiste verlöthet. Die so entstehenden Systeme von positiven und negativen Elektroden (Elektrodensätze) der einzelnen Zellen werden nun untereinander verlöthet.

Die Zellen sind in der Regel hintereiander, seltener nebeneinander geschaltet. Bei der Hintereinanderschaltung verlöthet man die positive Bleileiste der einen Zelle mit der negativen der nächsten u. s. w. Bei der Nebeneinanderschaltung werden sämmtliche positive Bleileisten zu einem (dem positiven), sämmtliche negative zu einem zweiten (dem negativen) Pole vereinigt. Das Blei wird, um die Verbindungsstelle vor Oxydation zu schützen, mit sich selbst verlöthet. Ein fremdes Löthmateriale findet nicht Verwendung. Die Endplatten der einzelnen Zellen sind negativ, so dass die Zelle eine negative Platte mehr enthält, als positive.

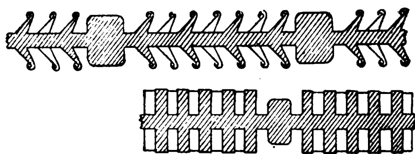


Fig. 65.
Zwei Schnitte durch die Pollak-Platte.

Die Zellen sind absichtlich derart konstruiert, dass nach einigen Jahren beinahe sämmtliche Füllmasse herausfällt. Die Planté-Schicht ist dann so mächtig geworden, dass die Kapacität der Zellen einen größeren Wert besitzt, als bei der Inbetriebsetzung derselben.

Die Holzuntersätze stehen, durch Porzellanrollen isoliert, auf einem hölzernen, eisernen oder gemauerten Gestelle.

Der Sammler mit Holzgefäß ist gerade so aufgebaut, wie der mit Glasgefäß.

3. Der Akkumulator der Akkumulatoren-Werke, System Pollak, Frankfurt a/M. und Liesing bei Wien[1]). In diesen Akkumulatoren für stationäre Zwecke, Typen *S* und *R*, *SG* und *RG* dienen als Elektroden viereckige Platten aus reinem Blei. Die Herstellung erfolgt in der Weise, dass Bänder aus etwa 6 *mm* starkem Walzblei von entsprechender Breite zuerst durch ein Walzwerk eigener Konstruktion gehen. Die Walzen dieses Walzwerkes, Fig. 65, bestehen

---

[1]) Nach einer Schrift, welche mir Herr Direktor Treier (Wien) freundlichst zur Verfügung gestellt hat.

aus massiven Stahlcylindern, auf welchen Stahlringe aufgeschoben und durch Verschraubung festgehalten sind. In die Stahlringe sind Zähne von verschiedener Gestalt eingefräst, so dass je nach der Zusammenstellung der Ringe gewisse Muster in das Blei eingewalzt werden; um die Zähne von etwa anhaftenden Unreinigkeiten zu befreien, ist bloß das Lösen der Endverschraubungen nöthig. Die Bänder sind alsdann, wie die schematischen Querschnitte, Fig. 66, zeigen, mit einer großen Zahl von vorstehenden Zäpfchen besetzt und von Längs- und Querrippen durchzogen, wodurch neben hoher Festigkeit eine beträchtliche Vergrößerung der Oberfläche, eine gleichmäßige Stromvertheilung und gleichzeitig ein Ersparnis an Material herbeigeführt wird.

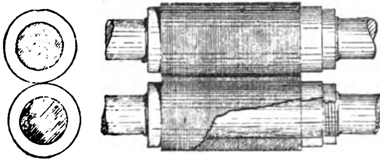


Fig. 66. Walzen nach Pollak.

Entsprechend der verschiedenen Verwendung fabricieren die obigen Akkumulatorenwerke zwei verschiedene Arten von Platten, welche sich in der Ausführung des massiven Kernes von einander unterscheiden: Die Oberfläche des Kernes vom Typus für starke Ladung und Entladung z. B. für sogenannte Ausgleichs-(Puffer-)Batterien (Typus *R*) kennzeichnet sich gegenüber der des Typus (*S*) für gewöhnliche Ladung und Entladung durch die stark vermehrte Zahl der Zäpfchen, welche eine weitere sehr erhebliche Vergrößerung der Berührungsfläche zwischen Kern und Masse zur Folge hat.

Hierauf werden die gewalzten Bleibänder in einzelne Platten von passender Länge zerschnitten und die zur Ableitung und Aufhängung dienenden Fahnen angelöthet; eine Platte in diesem Zustande ist durch Ansicht, Fig. 67, dargestellt.

Das nächste Verfahren ist die Wiederherstellung der glatten Oberfläche durch Ausfüllen der Vertiefungen mittels porösen metallischen Bleies. Es besteht darin, dass kohlensaures Bleioxyd in einer alkalischen Lösung durch Elektrolyse reduziert und das so gebildete poröse Blei auf den Platten zasammengedrückt wird. Durch diese Methode ist ein neuer eigenartiger, auf dem besonderen Gefüge des in den Elektrodenplatten erzeugten fein zertheilten Bleies beruhender Fortschritt erreicht, nämlich der, in sicherer Weise eine aus Blei bestehende Elektrodenplatte zu schaffen, deren Masse nicht nur homogen, sondern durchwegs so porös ist, dass die elektrolytische Flüssigkeit zu allen Theilchen der Elektrode Zutritt hat.

Zum Schlusse erfolgt die Formation in der üblichen Weise durch Einwirkung des Stromes im Bade von verdünnter Schwefelsäure, wobei

sich das poröse Blei an den positiven Platten in Bleisuperoxyd verwandelt.

Die geschilderte Art der Herstellung verbürgt ein vollkommen festes Anhaften der porösen Materie, dauernde Erhaltung der Kapazität und nur sehr langsam eintretende Peroxydation des massiven Kerns der positiven Platten, womit gleichzeitig ein Steigen der Kapacität verbunden ist. Der Halt der Masse ist bei diesen Platten dadurch gesichert, dass sie in den Kern gleichsam Wurzeln treibt und zwar um so mehr, je öfter die chemischen Vorgänge stattfinden. Andererseits bieten die vollkommen porösen äußeren Lagen der elektrolytischen Einwirkung eine genügend große Oberfläche und lassen die Oxydation deshalb nur sehr allmählich in die Tiefe dringen. Ein weiterer bedeutender Vortheil ist, dass die poröse Masse über die ganze Plattenoberfläche ein Ganzes bildet; hieraus entspringt auch eine so große Festigkeit der fertigen Platten, dass dieselben ohne Nachtheil starken Biegungen unterworfen werden können. Eine frühzeitige Kapacitätsabnahme, die in der Sulfatbildung an den Grenzflächen zwischen Grundplatte und Masse ihre Ursache hat, ist dadurch vermieden, dass eine solche Trennung überhaupt nicht besteht, sondern ein allmählicher Übergang zwischen den beiden Theilen der Elektroden stattfindet.

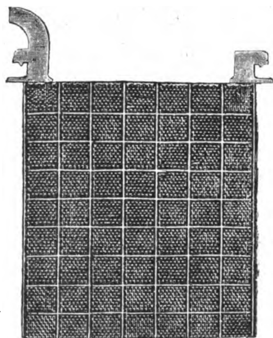


Fig. 67.
Gewalzte Pollak-Platten.

Die Dauer der Entladung lässt sich bei Platten des Typus für rasche Entladung bis auf eine Stunde verkürzen; für stoßweise Entladungen darf die Stromstärke sogar bis auf das Doppelte der für einstündige Entladung erlaubten gesteigert werden. Auch der Ladestrom darf für Platten dieser Art sehr beträchtliche Werte annehmen und zwar kann, während sonst eine Vermehrung des Ladestromes um die Hälfte in besonderen Fällen zulässig ist, hier die Stromdichte bei normaler Ladung auf das Doppelte gesteigert werden.

Als wesentlich für die Erhaltung eines Akkumulators erweist sich die Aufstellung, wobei in erster Reihe den Platten die Möglichkeit freier Ausdehnung nach allen Richtungen gewährt sein muss; in zweiter Linie ist es nothwendig, dass die Platten sicher in hinreichender Entfernung von einander gehalten werden und dass fremde Körper, welche durch Zufall in ein Element gelangen sollten, nicht Veranlassung zu Kurzschlüssen zwischen den Platten geben, sondern leicht zu Boden fallen oder entfernt werden können.

Bei diesem Aufbau für Elemente kleinerer Dimensionen hängt deshalb jede Platte mit zwei seitlichen Ansätzen frei beweglich auf zwei Glasröhren, die in Bleirinnen auf dem Gefäßboden aufstehen, so dass sie sich unbehindert ausdehnen kann; zwei weitere seitliche biegsame Nasen geben der Platte Führung an den Gefäßwänden, die nöthifalls an diesen Stellen mit Glas belegt werden. Außer den Tragröhren dienen zur Erhaltung des gleichmäßigen Zwischenraumes zwischen den Platten Isolierröhren, welche von an die Platten gelötheten Bleistreifen gehalten werden und gleichfalls in Bleirinnen aufstehen. Das Ganze pressen Federn aus Hartblei fest zusammen.

Bei den großen Elementen werden die Elektroden aus mehreren Platten zusammengesetzt und zwar entweder aus zwei, oder aus vier Platten, Die aus zwei Platten bestehenden Elektroden sind in analoger Weise, wie oben beschrieben, angeordnet; die beiden Platten, welche dann eine Elektrode bilden, sind unter sich durch einen halbringförmigen Bügel verbunden. Bei den Elektroden aus vier Platten ist die freie Beweglichkeit derselben in ähnlicher Weise gewahrt. Die vier Platten sind hier symmetrisch zu beiden Seiten eines, die Stromzuführung vermittelndan prismatischen Bleistabes angeordnet, mit dem sie an einer oberen Ecke verbunden sind. Auf der anderen Seite sind sie mit starken Nasen oben auf den Glasröhren aufgehängt, welche auf einer Rinne auf Vorsprüngen der Seitenwand des Kastens stehen, und unten durch untertheilte Glasscheiben gestützt. Der Zwischenraum zwischen den oberen und unteren Platten ist genügend groß. Die Isolierung der einzelnen Platten findet durch Isolierröhren statt; diese Röhren werden durch an die negativen Platten angelöthete Bleistreifen festgehalten. Aus der beschriebenen Anordnung erhellt die beabsichtigte gleichmäßige Vertheilung der Massen in solchen großen Elementen auf die ganze Grundfläche der Zelle, sowie eine völlig symmetrische Stromvertheilung, auf die bei großen Stromdichten ein besonderer Wert zu legen ist.

Alle diese Arbeiten sind ebenso rasch als einfach und sicher auszuführen; dabei kommt das von den obigen Akkumulatorenwerken überall angewandte specielle Blei-Löthverfahren besonders zu statten, welches den lästigen und gefährlichen Wasserstoffapparat ganz entbehrlich macht sich vielmehr auf der Verwendung eines in der gewöhnlichen Weise wie Zinn zu behandelnden Lothes beruht und sogar das Ablöthen durch einfaches Erwärmen gestattet. Der Vortheil dieser Methode macht sich namentlich z. B. in Laboratorien geltend, wo es oft nothwendig ist, einzelne Platten eines Elementes herauszunehmen und durch andere zu ersetzen oder beliebige Schaltungen der Zellen schnell auszuführen.

Die Festigkeit dieser Platten erlaubt, dieselben in beliebige Theile zu zerschneiden, je nach der Größe der gewünschten Elemente. So werden die Platten für die kleinsten Elemente durch Halbierung oder noch weitere Theilung der normalen Platten erhalten und mit angelötheten Fahnen versehen. Der Aufbau erfolgt dann in der Weise, dass die negativen Platten mittelst eines durch deren Ableitungen gesteckten Hartgummistabes tragen.

Zur erstmaligen Ladung ist nur eine Zeit von 24 bis 30 Stunden erforderlich, welche in mehrere Abschnitte getrennt werden können, wo ununterbrochener Maschinenbetrieb nicht statthaft ist.

Abgesehen von dieser ersten Ladung treten die lästigen Schwefelsäuredämpfe nur in verschwindendem Maße auf, weil die kleinen am Ende der Ladung entstehenden Gasblasen wenig Flüssigkeit mit sich reißen. Es kann daher bei diesen Batterien von der Autstellung besonderer Ventilationseinrichtungen Umgang genommen werden, wenn solche nicht durch die Rücksicht auf die nothwendige Erhaltung einer Temperatur von höchstens 20⁰ bedingt sind.

Für transportable Akkummulatoren fertigen die genannten Akkumulatorenwerke und zwar ohne Änderung des vorher beschriebenen Systems leichtere Platten, so dass das Gesammtgewicht und das Raumerfordernis im Verhältnis zur Kapacität ein geringeres wird. Als Gefäßmaterial findet Hartgummi Anwendung, und die Montage der Platten in den Kasten, sowie ihre Verbindungen und Ableitungen werden mit größter Sorgfalt ansgeführt, um den Elementen die höchst erreichbare Zuverlässigkeit und Haltbarkeit zu verleihen.

Ihre hauptsächlichste Verwendung finden die transportablen Akkumulatoren für Straßenbetrieb und Waggonbeleuchtung.

Als Beispiel für das System der automatischen Nachladung zum Betriebe von Straßenbahnen mit Akkumulatoren sei jenes angeführt, welches seit dem Monate Mai 1897 auf einer Linie der Straßenbahn in Frankfurt a/M. in Anwendung ist.

Jeder Wagen enthält 18 Sitz- und 16 Stehplätze und wiegt einschließlich der unter den Sitzen angebrachten Akkumulatoren ohne Fahrgäste 8, voll besetzt 10·5 *t*. Jede Wagenbaterie besteht aus 84 Elementen System Pollak von 120 Ampèrestunden Kapacität bei sechsstündiger Entladung und wiegt ca. 2 *t*. Der Antrieb erfolgt durch einen 15-pferd. Motor und zwar so, dass die Batterie beim Anfahren in zwei parallele Reihen, bei normaler Fahrt in eine Reihe geschaltet wird.

Die Elemente haben Gefäße aus Hartgummi und Isolation aus dem gleichen Material zwischen den Elektroden. Je 14 Elemente sind in einem herausziehbaren Holzkasten vereinigt und stehen mittels Gummi-

puffern auf Gleitschienen. Zur Revision der Batterien sind die Sitze zum Abheben eingerichtet; die Batterieräume sind durch Röhren nach oben und unten ventiliert.

Die Ladung erfolgt in der Hauptsache durch Nachladen während der fahrplanmäßigen Haltezeiten von ca 4 Minuten an dem einen Endpunkte Galluswarte; hier ist ein Mast mit Ausleger aufgestellt an welchem zwei, mit der Stromquelle verbundene Ladependel befestigt sind, die sich beim Einfahren des Wagens selbstthätig über zwei, auf dem Dache desselben isoliert angebrachte Kupferschienen schieben und so den Kontakt zwischen Batterie und Dynamo der Ladestation herstellen. Das Nachladen geschieht also vollständig automatisch und ohne dass irgend etwas an der Batterie von Hand zu geschehen hätte, und ersetzt die bei der Fahrt verbrauchte Energie nahezu vollständig, so dass das Aufladen der Batterie in der Wagenhalle abends nach Einstellung des Betriebes nur etwa eine halbe Stunde erfordert. Auch hierbei werden die Batterien nicht aus dem Wagen genommen, sondern durch Kabel mit der Stromquelle verbunden, so dass Motoren und Anlasser dabei stromfrei bleiben. Übrigens genügt die in jeder Wagenbatterie ständig aufgespeicherte Energie für eine Fahrt von 60 *km*; man kann also auch ohne Nachladen, z. B. bei Störungen oder Arbeiten in der Ladestation den regelmäßigen Betrieb ohne jede Schwierigkeit durch einige Stunden aufrecht erhalten.

Die Dynamo der Ladestation, welche mit einer kleinen Pufferbaterie von 105 Elementen parallel geschaltet ist, wird auf konstante Spannung reguliert und die Station bedarf trotz der stark wechselnden Belastung keinerlei Überwachung, da die Pufferbatterie die sich beim Laden ergebenden Stromstöße ausgleicht. Einen Theil der für den Betrieb erforderlichen Energie liefert das Städtische Elektricitätswerk und zwar in Gestalt von einphasigem Wechselstrom von 3000 Volt Spannung, welcher durch ein besonderes Kabel zugeleitet und zunächst durch Transformatoren auf 65 Volt gebracht wird. Diese Transformatoren befinden sich hinter einem geschlossenen Verschlag, dessen Vorderwand zugleich als Schaltbrett dient. Vor dem Schaltbrett sind die Gleichrichter aufgestellt, welche den Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln.

Der Gleichrichter ist seinem Wesen nach ein mit der Wechselstromquelle synchron bewegter Stromwender (Kommutator), welcher gleichgerichteten Strom zur Ladung von Akkumulatoren, wie überhaupt zur elektrolytischen Arbeit, und zum Betriebe von Gleichstrom-Elektromotoren und Bogenlampen zu liefern bestimmt ist. Um diesen Zwek zu entsprechen, darf die elektromotorische Kraft des gleichgerichteten Stromes nicht unter einen bestimmten Betrag sinken. Es ist also er-

forderlich, von dem Wechselstrom nur gewisse Abschnitte zu kommutieren und die somit nothwendigen Unterbrechungen des Stromes funkenlos zu bewirken.

Der aus zwei von einander isolierten Theilen bestehende trommelförmige Stromwender wird durch einen kleinen synchronen Wechselstrommotor in Drehung versetzt. Die beiden Hälften des Stromwenders haben die Gestalt von Scheiben, welche einerseits einen Schleifring, anderseits lamellenförmige Ansätze tragen, und sind so versetzt, dass die aufeinanderfolgenden Lamellen abwechselnd mit der einen und der anderen Scheibe verbunden sind. Auf den Schleifringen liegen Bürsten auf, die den Wechselstrom zuführen; von den Lamellen wird der gleichgerichtete Strom abgenommen und zwar sind für jeden Pol zwei Bürstensysteme vorhanden, die in der Richtung des Trommelumfanges gegeneinander verschoben werden können; dadurch lässt sich die Dauer der Stromabnahme in der oben angegebenen Weise regeln. Auch für die Waggonbeleuchtung kommen Hartgummikästen in Verwendung.

69. Sammler mit Gitterplatten.

1. Der Sammler von Faure (1881). Die Elektroden dieses Sammlers bestanden aus Bleiplatten, welche mit Mennige bestrichen waren. Die Mennige wurde mit verdünnter Schwefelsäure zu einem Brei angemacht.

2. Der Sammler von Faure-Sellon-Volkmar (F. S. V.), Fig. 68 bis 70, enthält Gitterplatten, deren Öffnungen mit einer Mischung aus Mennige und Bleiglätte ausgefüllt sind. Die Gefäße bestehen aus Holzkästen, welche innen mit Kautschuk oder Ebonit ausgelegt werden, oder aus Glas- oder Ebonitgefäßen. Dieser Sammler wird in England von der Elektrical Power Storage Company (E. P. S.) Limited London[1], in Deutschland von der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft und von J. L. Huber in Hamburg gebaut. Das Bleigitter hat quadratische Zwischenräume von doppeltkonischer Gestalt. Die Füllmasse ist knetbar und kann leicht herausfallen. Beim Füllen liegen die Gitter auf einer Holz- oder Steinplatte. Der Brei wird mittelst großer Leisten eingestrichen. Die Platten sind voneinander durch Kautschukpflöcke, um die Platten gezogene Gummiringe, Glas- oder Hartgummistreifen isoliert. Sämmtliche Platten werden durch feste Kautschukbänder, zusammen gehalten. Auf dem Boden des Gefäßes liegen zwei Glasprismen, auf welchen der Plattenkörper steht.

---

[1]) Mit Benützung einer Schrift, welche mir auf der Pariser Weltausstellung (1900) von obiger Firma freundlichst überreicht wurde.

Barber und Starkey[1]) haben die Platten dieses Sammlers, welche nach längerem Stehen mit weißem schwefelsauren Blei bedeckt waren, ohne sie auseinander zu nehmen, durch Zusatz von Soda zum Theile brauchbar gemacht.

Swinburne hat zuerst gefunden, dass sich durch Zusatz von Soda schwefelsaures Natron bildet, welches das schwefelsaure Blei theilweise auflöst.

Die E. P. S. Co. ist die älteste Gesellschaft, welche sich allein mit der Fabrikation von Akkumulatoren befasst. Sie war es, welche zuerst die von Cammille A. Faure im Jahre 1880 erfundenen Verbesserungen an Batterien zusammen mit den Patenten von Swan, Sellon und anderen komerciell in Anwendung brachte. In Paris waren auf der Weltausstellung 1900 nicht nur die verschiedenen Fabrikationstypen sondern auch die Entwicklungsphasen veranschaulicht, durch

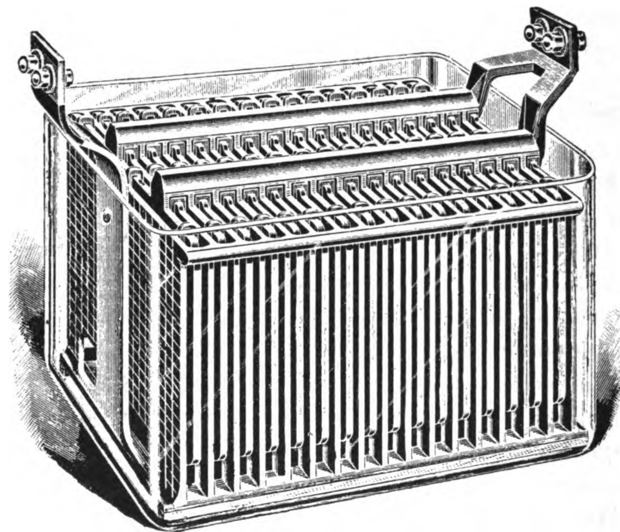


Fig. 68. K-Type der E. P. S. Co.

welche die Akkumulatorentechnik während der letzten 20 Jahre gegangen ist. Die in Figur 68 abgebildete K.-Type der E. P. S. Batterien mit Glasgefäß kann ohne Schaden $3^1/_2$ Stunden entladen werden. Die kleineren Typen werden auch von der englischen und Kolonial-Regierung für telegraphische Zwecke verwendet.

Die genannte Firma hat in den letzten Jahren die Vervollkommnung der Zellen für Motorwagen ganz besondere Aufmerksamkeit zugewendet; die letzten Modelle der Faure-King-Baterie haben

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, 1887, Seite 144.

zu großen Fortschritten in der Automobilenfabrikation Anlass gegeben. Die in den Figuren 69 und 70 dargestellten E.-Typen werden in großem Umfang zur Zugbeleuchtung nach den Stone'schen System benützt.

4. Der Sammler von J. L. Huber. Das Bleigitter hat dieselbe Form wie der E. P. S. Sammler (Fig. 68 bis 70), besteht jedoch aus Hartblei (4% Antimon, 96% Blei) auch Julien-Metall genannt. Die Gitter aus Bleilegierungen sind härter, leichter und dauerhafter, als die rein metallischen Bleigitter. Die Pfropfen der aktiven Masse sind durchlocht; dadurch vergrößert sich die Oberfläche der Platten und die aktive Masse kann sich, ohne Gestaltveränderung, ausdehnen.

5. Der Sammler von E. Correns (C. Wilhelm Kayser, Hüttenwerk und Akkumulatorenfabrik in Berlin) verhütet in erster Linie das Herausfallen der Füllmasse. Die Platten bestehen aus einem Doppelgitter, Figur 68, welches scheinbar aus zwei gegeneinander versetzten Gittern hervorgeht. Dort, wo sich die Stäbe beider Gitter kreuzen, hängen sie durch Querstäbe zusammen. Die Gitteröffnung hat eine quadratische Form von 7 *mm* Seitenlänge. Die Doppelgitter werden in einem Stück aus reinem Blei gegossen. Die Gussform besteht aus zwei Hälften. Jede Hälfte besitzt einen zapfenartigen Vorsprung. Diese Vorsprünge greifen in einander; in dieselben sind Nuten eingearbeitet, welche den erforderlichen Raum für Gitterstäbe bilden. Der Zapfen erzeugt die Öffnungen des Gitters.

Die Rippen der Gitter sind 2 *mm* breit, ihr Querschnitt bildet ein mit der Spitze nach innen gerichtetes Dreieck; sie laufen unter Winkeln von 45° zu Kanten der Platten, deren Dicke 6 bis 7 *mm* beträgt. Der Rand der letzteren ist massiv und bezweckt eine Versteifung. Demselben Zwecke dienen massive Rippen von 3 *mm* Breite, welche die Gitter durchziehen, und mit den Kanten der Platten parallel laufen. An dem oberen Ende besitzt jede Platte kurze Ansätze, mit denen man sie auf Stützen hängen kann. Eine Fahne dient zum Verlöthen der gleichpoligen Platten. Die beiden Metallgitter schließen einen Hohlraum ein, welcher nur von den Verbindungsstücken an den Kreuzungspunkten der Gitterstäbe durchsetzt ist; in den letzteren kommt die Füllmasse (links gezeichneter Theil der Fig. 68). Als Füllmasse dient für die positive Platte reine Mennige, für die negative reine Bleiglätte Diese Bleiverbindungen erhalten Zusätze, welche die Platte porös machen und cementartig erhärten. Die Größen, in welchen die Correns-Akkumulatoren gebaut werden, sind:

Type	Höhe	Breite	Dicke
H	220 *mm*	180 *mm*	6 *mm*
Q	260 *mm*	260 *mm*	7 *mm*
C	405 *mm*	340 *mm*	7 *mm*

Durch Übereinandersetzen von Platten erhält man Elemente von größerer Kapacität. Die Stromdichte beträgt bei der Entladung in drei Stunden 0·96 Ampére für 1 dm^2 einseitiger Plattenoberfläche für Q Platten und 0·82 Ampère für 1 dm^2 für H Platten; bei der Ladung mit der zulässigen maximalen Stromstärke 0·78 Ampère für 1 dm^2 der Type Q und 0·66 Ampère für 1 dm^2 der Type H. Die Stromdichte bei der Entladung kann bei diesen Platten so hoch sein, dass die Entladung bis zu 1 Stunde herab erfolgt.

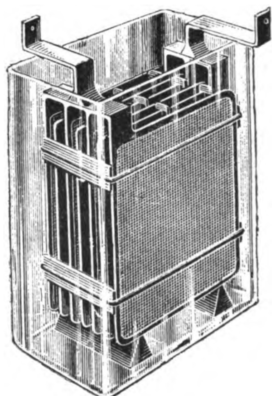


Fig 69.
E. 7 Type der E. P. S. Co. in Glas.

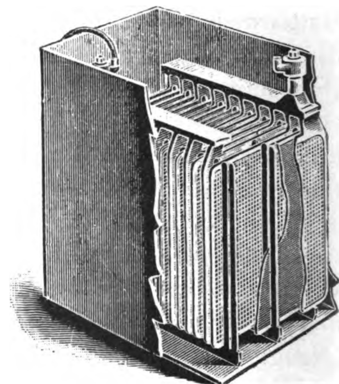


Fig. 70.
E. 19 Type der E. P. S. Co. in Hartgummi.

6. Der Akkumulator der Akkumulatoren-Fabrik Wüste & Rupprecht in Baden bei Wien. Fast allgemein entstehen Gitterplatten derart, dass in ein vorher angefertigtes Gitter aktive Masse eingestrichen, eingepresst oder sonstwie eingetragen wird. Bei diesem Sammler jedoch werden aus entsprechend gemengter und vorbereiteter Mischung rechteckige Plattenstücke durch ein Stanzverfahren hergestellt, und dann eine entsprechende Anzahl derart verfertigter Platten von einem Gitter umgossen. Dadurch wird eine gleichmäßige und feste aktive Masse erzielt und somit die Platte von Anbeginn gegen den Masseausfall geschützt; letztere erscheint auf diese Weise auch in verhältnismäßig sehr kleine Felder untertheilt. Der Einbau der transportablen Elemente erfolgt bis auf einzelne, besonders begründete Ausnah-

men nicht mehr in Celluloidgefäße, sondern nur noch in Hartgummikästen.

Nebenbei hervorgehoben sei an dieser Stelle die von dieser Firma in die Praxis eingeführte elektrische Zugsbeleuchtung, System Dick, und die elektrische Grubenlampe derselben Firma.

7. Der Sammler von Gottfried Hagen (Kölner Akkumulatorenwerke). Die Gitterdoppelplatten unterscheiden sich von denen der Correns-Sammler dadurch, dass die quadratischen Öffnungen der Gitter nicht gegeneinander versetzt sind und an den Kreuzungspunkten durch kurze cylindrische Verbindungsstücke zusammenhängen.

8. Der Sammler der Akkumulatoren- und Elektricitätswerke A.-G. vormals W. A. Boese & Co., dessen Platte in den Fig. 69 und 70 wiedergegeben ist, besteht ganz aus aktivem Material.

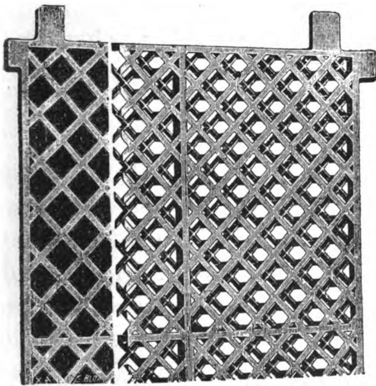


Fig. 71. Correns-Platte.

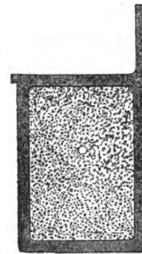


Fig. 72. Boese-Platte.



Fig. 73. Schnitt durch die Boese-Platte.

Die Platten sind nur am Rande behufs besserer Stromleitung von einem Rahmen umgeben; sie besitzen ein sehr hohes Aufspeicherungsvermögen, können jedoch nur in mäßigen Abmessungen ausgeführt werden, wenn sie nicht brechen sollen. Batterien aus solchen Platten eignen sich insbesondere für langsame Entladungen, weil nur dann ein großer Theil der aktiven Masse an der chemischen Umwandlung theilnimmt. Die normale Größe dieser Platten ist 140×100 *mm*². Fig. 69 veranschaulicht die Ansicht einer solchen Platte. Die Dicke der positiven Platte für stationäre Zwecke beträgt 8 bis 10 *mm*. Größere Platten werden durch Neben- und Übereinandersetzen mehrerer kleiner hergestellt; in diesem Falle sind die Bleirahmen der einzelnen kleineren Platten in einem Stücke gegossen. Die aktive Masse ist an zahlreichen Stellen durchstochen; es entstehen so Löcher von 1 *mm* Durchmesser, welche

den Zutritt der Säuer zu der Füllmasse erleichtern. In der Mitte besitzt die Platte ein größeres Loch von etwa 7 *mm* Durchmesser, durch welches der Umlauf der Säure ermöglichst erscheint. Das active Material besteht aus Bleioxyden, welche durch gewisse organische Substanzen hart und widerstandsfähig gemacht werden. Die negative Platte ist eine Gitterplatte. (System Correns).

70. Sammler mit Streifenplatten.

Der Sammler von De Khotinsky (Elektriciteits-Maatschappiy). Die Zellen sind entweder flach oder hoch angeordnet. Die Elektroden besehen aus Bleistreifen, welche tiefe Rinnen besitzen. Die Zellen für rasche Entladung haben niedrigere Rinnen, als jene für langsame Entladung. Innerhalb der Rinnen befindet sich die Füllmasse. Die Ränder der Rinnen sind T-förmig, so dass diese Form die Masse am Herausfallen hindert. Bei der flachen (niedrigen) Bauart sind nur wenige Streifen übereinander angeordnet, bei der hohen Bauart werden mehrere schmale Platten zu einer hohen zusammengesetzt.

71. Sammler mit halbfestem Elektrolyt.

Der Sammler von Schoop. Die Bleigitter der Zellen nehmen die Füllmasse in dreieckigen Öffnungen auf. Die Gefäße bestehen aus Glas, Holz oder Hartgummi. Die Elektroden befinden sich anstatt in verdünnter Schwefelsäure in einer gallertartigen Masse. Die Bestandtheile dieser Masse sind kieselsaures Natron (Natron-Wasserglas) und verdünnte Schwefelsäure. Bei der Mischung der genannten Bestandtheile scheidet sich eine gallertartige Kieselsäure aus. Die in die Zelle dünnflüssig eingefüllte Mischung wird schon nach einigen Stunden dickflüssig. Dieser Elektrolyt soll insbesondere die Bildung von Kurz- und Nebenschlüssen zwischen den Elektroden, das Herausfallen der Füllmasse, das Fallen von Gegenständen zwischen die Elektroden und das rasche Ausfließen des Elektrolyt beim Zerbrechen oder Undichtwerden des Gefäßes verhindern. Die gegen Ende der Ladung sich bildenden Gasblasen steigen zwischen der elastischen Masse und den Elektroden nach oben. Da sich der innere Widerstand der Zellen durch den gallertartigen Elektrolyt erhöht, muss, zur Verkleinerung desselben, die Plattenoberfläche vergrößert werden.

Infolge der bequemen Tragbarkeit der Zellen wären Sammler mit halbfestem Elektrolyt, insbesondere für den Betrieb von Straßenbahnen, zur Beleuchtung von Eisenbahnzügen, zur Beleuchtung und zu dem Antriebe von Fahrzeugen u. s. w. vorzüglich geeignet.

Bekanntmachung

betreffend die Errichtung und den Betrieb von Anlagen zur Herstellung elektrischer Akkumulatoren aus Blei oder Bleiverbindungen.

Vom 11. Mai 1898 (Reichs-Gesetzblatt 1898, S. 176).

Auf Grund der §§ 120 *e* und 139 *a* der Gewerbeordnung hat der Bundesrath über die Einrichtung und den Betrieb von Anlagen zur Herstellung elektrischer Akkumulatoren aus Blei oder Bleiverbindungen folgende Vorschriften erlassen.

§ 1.

In Anlagen zur Herstellung elektrischer Akkumulatoren aus Blei oder Bleiverbindungen müssen die Arbeitsräume, in denen die Bearbeitung oder Verarbeitung von Blei oder Bleiverbindungen stattfindet, mindestens 3 *m* hoch und mit Fenstern versehen sein, welche geöffnet werden können und eine ausreichende Lufterneuerung ermöglichen.

Die Räume zum Formieren (Laden) der Platten müssen mit wirksamen Ventilationseinrichtungen versehen sein.

§ 2.

In den Räumen, in denen bei der Arbeit ein Verstäuben oder ein Verstreuen von Blei oder Bleiverbindungen stattfindet, muss der Fußboden so eingerichtet sein, dass er kein Wasser durchlässt. Die Wände und Decken dieser Räume müssen, soweit sie nicht mit einer glatten, abwaschbaren Bekleidung oder mit einem Ölfarbenanstriche versehen sind, mindestens einmal jährlich mit Kalk frisch angestrichen werden.

Die Verwendung von Holz, weichem Asphalt oder Linoleum als Fußbodenbelag, sowie von Tapeten als Wandbekleidung ist in diesen Räumen nicht gestattet.

§ 3.

Die Schmelzkessel für Blei sind mit gut ziehenden, ins Freie oder in einen Schornstein mündenden Abzugsvorrichtungen (Fangtrichtern) zu überdecken.

§ 4.

Wo eine maschinelle Bearbeitung der Bleiplatten (Gitter oder Rahmen) durch Bandsägen, Kreissägen, Hobelmaschinen oder dergleichen stattfindet, muss durch geeignete Vorrichtungen thunlichst dafür Sorge getragen werden, dass abgerissene Bleitheile und Bleistaub unmittelbar an der Entstehungsstelle abgefangen werden.

§ 5.

Apparate zur Herstellung von metallischem Bleistaube müssen so abgedichtet und eingerichtet sein, dass weder bei den Herstellungsverfahren noch bei ihrer Entleerung Bleistaub entweichen kann.

§ 6.

Das Sieben, Mischen und Anfeuchten der zur Füllung der Platten dienenden Masse, sofern sie Blei oder Bleiverbindungen enthält, das Abziehen der aus Papier oder dergleichen bestehenden Hüllen von den getrockneten Platten, sowie alle sonstigen mit Staubentwickelung verbundenen Hantierungen mit der trockenen oder getrockneten Füllmasse dürfen nur unter wirksamen Abzugsvorrichtungen oder in Apparaten vorgenommen werden, welche so eingerichtet sind, dass ein Verstäuben nach Außen nicht stattfinden kann.

§ 7.

Geöffnete Behälter mit Bleistaub oder Bleiverbindungen sind auf einem Roste und mit diesem auf einem ringsum mit Rand versehenen Untersatze so aufzustellen, dass bei der Entnahme aus dem Behälter verstreute Stoffe in dem Untersatze aufgefangen werden.

§ 8.

Die folgenden Vorrichtungen:

a) die maschinelle Bearbeitung der Bleiplatten, Gitter oder Rahmen (§ 4),

b) die Herstellung metallischen Bleistaubes (§ 5),

c) das Herstellen und Mischen der Füllenmasse (§ 5), soweit es maschinell erfolgt, müssen je in einem besonderen, von anderen Arbeitsräumen getrennten Raume ausgeführt werden.

§ 9.

Die Tische, auf denen die Füllenmasse in die Platten (Gitter, Rahmen) eingestrichen oder eingepresst wird, müssen eine glatte und dichtgefügte Oberfläche haben; sie müssen mindestens einmal täglich feucht gereinigt werden.

§ 10.

Lötharbeiten, welche unter Anwendung eines Wasserstoff-, Wassergas- oder Steinkohlengas-Gebläses ausgeführt werden, dürfen, soweit es die Natur der Arbeit gestattet, nur an bestimmten Arbeitsplätzen unter wirksamen Absaugevorrichtungen vorgenommen werden. Diese Vorschrift findet keine Anwendung auf diejenigen Lötharbeiten, welche zur Verbindung der Elemente dienen und nicht außerhalb der Formierräume vorgenommen werden können.

§ 11.

Das zur Herstellung von Wasserstoffgas dienende Zink und die im Betriebe zur Verwendung kommende Schwefelsäure müssen technisch rein sein.

§ 12.

Die Arbeitsräume sind von Verunreinigungen mit Blei oder Bleiverbindungen möglichst frei zu halten.

In den im § 2 bezeichneten Räumen muss der Fußboden täglich mindestens einmal, und zwar nach Beendigung der Arbeitszeit, feucht gereinigt werden.

§ 13.

Der Arbeitgeber hat allen bei der Herstellung von Akkumulatoren beschäftigten Arbeitern Arbeitsanzüge und Mützen in ausreichender Zahl und in zweckentsprechender Beschaffenheit zur Verfügung zu stellen.

Er hat durch geeignete Anordnungen und Beaufsichtigung dafür Sorge zu tragen, dass die Arbeitskleider nur von denjenigen Arbeitern benützt werden, denen sie zugewiesen sind, mindestens einmal wöchentlich gewaschen und während der Zeit, wo sie sich nicht im Gebrauche befinden, an den dafür bestimmten Plätzen aufbewahrt werden.

§ 14.

In einem staubfreien Theile der Anlage muss für die Arbeiter ein Wasch- und Ankleideraum und getrent davon ein Speiseraum vorhanden sein. Diese Räume müssen sauber und staubfrei gehalten und während der kalten Jahreszeit geheizt werden.

In dem Wasch- und Ankleideraum müssen Wasser, Gefäße zum Mundspülen, zum Reinigen der Hände und Nägel geeignete Bürsten, Seife und Handtücher sowie Einrichtungen zur Verwahrung derjenigen Kleidungsstücke, welche vor Beginn der Arbeit abgelegt werden, in ausreichender Menge vorhanden sein.

Der Arbeitsgeber hat seinen Arbeitern wenigstens einmal wöchentlich Gelegenheit zu geben, ein warmes Bad zu nehmen.

§ 15.

Die Verwendung von Arbeiterinnen, sowie von jugendlichen Arbeitern zu solchen Verrichtungen, welche sie mit Blei oder Bleiverbindungen in Berührung bringen, ist untersagt.

Diese Bestimmung hat bis zum 30. Juni 1908 Giltigkeit.

§ 16.

Der Arbeitgeber darf zur Beschäftigung bei der Herstellung von Akkumulatoren nur solche Personen einstellen, welche die Bescheinigung eines von der höheren Verwaltungsbehörde dazu ermächtigten Arztes darüber beibringen, dass sie nach ihrem Gesundheitszustande für diese Beschäftigung geeignet sind. Die Bescheinigungen sind zu sammeln, aufzubewahren und dem Aufsichtsbeamten (§ 139 *b* der Gewerbeordnung) auf Verlangen vorzulegen.

§ 17.

Die Beschäftigung der zum Mischen und Herstellen, sowie zum Einstreichen der Füllmasse in die Platten (Gitter und Rahmen) verwendeten Arbeiter ist wohlweise so zu regeln, dass die Arbeitszeit

a) entweder die Dauer von 8 Stunden täglich nicht übersteigt und durch eine Pause von mindestens $1^1/_2$ Stunden unterbrochen wird.

b) oder die Dauer von 6 Stunden täglich nicht übersteigt und nicht zum Zwecke der Nahrungsaufnahme unterbrochen wird.

Wird die Arbeitszeit in der in lit. *b* bezeichneten Weise geregelt, so dürfen die bezeichneten Arbeiter im Betriebe auch anderweitig beschäftigt werden, sofern sie bei dieser anderweitigen Arbeit mit Blei oder Bleiverbindungen nicht in Berührung kommen, und zwischen beiden Beschäftigungsarten eine Pause von mindestens 2 Stunden gewährt wird.

Der Arbeitgeber hat binnen einer Woche nach dem Inkrafttreten dieser Vorschriften oder nach der Betriebseröffnung die hiernach von ihm gewählte Regelung der Arbeitszeit bei der Ortspolizeibehörde anzuzeigen und darf eine andere Regelung nur nach vorheriger Anzeige zu Ausführung bringen.

§ 18.

Der Arbeitgeber hat die Überwachung des Gesundheitszustandes seiner Arbeiter einem dem Aufsichtsbeamten namhaft zu machenden approbierten Arzte zu übertragen, welcher die Arbeiter mindestens einmal monatlich auf die Anzeichen etwa vorhandener Bleierkrankung zu untersuchen hat.

Auf Anordnung des Arztes sind Arbeiter, welche Krankheitserscheinungen infolge der Bleieinwirkung zeigen, bis zur völligen Genesung, solche Arbeiter aber, welche sich dieser Einwirkung gegenüber besonders empfindlich erweisen, dauernd von der Beschäftigung mit Blei oder Bleiverbindungen fern zu halten.

§ 19.

Der Arbeitgeber ist verpflichtet, zur Kontrolle über den Wechsel und Bestand, sowie über den Gesundheitszustand der Arbeiter ein Buch zu führen oder durch einen Betriebsbeamten führen zu lassen. Er ist für die Vollständigkeit und Richtigkeit der Einträge, soweit sie nicht vom Arzte bewacht werden, verantwortlich.

Dieses Kontrollbuch muss enthalten:

1. Vor- und Zuname, Alter, Wohnort, Tag des Ein- und Austritts jedes Arbeiters, sowie die Art seiner Beschäftigung.

2. Name, dessen, welcher das Buch führt.

3. Name, des mit der Überwachung des Gesundheitszustandes der Arbeiter beauftragten Arztes.

4. Den Tag und die Art der Erkrankung eines Arbeiters.

5. Den Tag seiner Genesung.

6. Die Tage und die Ergebnisse der im § 18 vorgeschriebenen allgemeinen ärztlichen Untersuchungen.

§ 20.

Der Arbeitgeber hat für die bei der Herstellung von Akkumulatoren beschäftigten Arbeiter verbindliche Bestimmungen über folgende Gegenstände zu erlassen:

1. Die Arbeiter dürfen Nahrungsmittel nicht in die Arbeitsräume mitnehmen. Das Mitbringen und der Genuss von Branntwein im Betrieb ist untersagt. Das Einnehmen von Mahlzeiten ist nur außerhalb der Arbeitsräume gestattet.

2. Die Arbeiter haben die ihnen überwiesenen Arbeitskleider bestimmungsgemäß zu benützen.

3. Die Arbeiter dürfen erst dann den Speiseraum betreten, Mahlzeiten einnehmen oder die Anlage verlassen, wenn sie zuvor die Arbeitskleider abgelegt, Hände und Gesicht sorgfältig gewaschen, sowie den Mund ausgespült haben.

4. Den Arbeitern ist das Rauchen, Schnupfen und Kauen von Tabak während der Arbeitszeit untersagt.

In den zu erlassenden Bestimmungen ist vorzusehen, dass Arbeiter, die trotz wiederholter Warnung den vorstehend bezeichneten Bestimmungen zuwiderhandeln, vor Ablauf der vertragsmäßigen Zeit und ohne Aufkündigung entlassen werden können.

Ist für einen Betrieb eine Arbeitsordnung erlassen (§ 134 *a* der Gewerbeordnung), so sind die vorstehend bezeichneten Bestimmungen in die Arbeitsordnung aufzunehmen.

§ 21.

In jedem Arbeitsraume, sowie in dem Ankleide- und Speiseraume muss eine Abschrift oder ein Abdruck der §§ 1 bis 20 dieser Vorschriften, sowie der gemäß § 20 vom Arbeitgeber erlassenen Bestimmungen an einer in die Augen fallenden Stelle aushängen.

§ 22.

Im Falle der Zuwiderhandlung gegen die §§ 1 bis 21 dieser Vorschriften kann die Polizeibehörde die Einstellung des Betriebes, soweit er durch die Vorschriften betroffen wird, bis zur Herstellung des vorschriftsmäßigen Zustandes anordnen (§ 117, Ab. 4 der Gewerbeordnung).

§ 23.

Die vorstehenden Bestimmungen treten mit dem 1. Juli 1898 in Kraft.

Soweit in einem Betriebe zur Durchführung der in den §§ 1, 2 und 8 enthaltenen Bestimmungen bauliche Veränderungen erforderlich sind, können hierzu von der höheren Verwaltungsbehörde Fristen bis höchstens zum 1. Jänner 1899 gewährt werden.

Berlin, den 11. Mai 1898.

Der Stellvertreter des Reichskanzlers

Graf von Posadowsky.

IV. Kapitel.

Galvanoplastik.

72. Begriff. Die Galvanoplastik umfasst alle Arbeitsmethoden, welche dazu dienen, auf nassem Wege sowohl unedle als auch edle Metalle mit einem Überzuge aus einem anderen Metalle zu versehen. Zu diesem Zwecke werden die Gegenstände, welche einen metallischen Überzug erhalten sollen, in ein sogenanntes galvanisches Bad gehängt, welches ein galvanischer Strom durchsetzt. Die Wirkung des galvanischen Stromes ist nun derartig, dass er die Flüssigkeit des Bades chemisch zersetzt und das Metall des im Bade gelösten Metallsalzes auf den eingetauchten Gegenständen niederschlägt. Solche metallische Niederschläge können auch durch gewöhnliches Eintauchen von Gegenständen in eine entsprechend vorbereitete Flüssigkeit hergestellt werden, ohne dass durch die Flüssigkeit ein galvanischer Strom durchgeschickt wird. Bei diesem Vorgange spielt also bloß die chemische Affinität zwischen eingetauchtem Metall und dem Metall der Lösung eine Rolle. Die metallischen Überzüge können zweierlei Zwecken dienen. Ein solcher Überzug kann als dünne Schicht eines edlen Metalles auf ein unedles gebracht werden, um ihm nach außen ein besseres Ansehen oder mehr Festigkeit zu geben. Diese Schichte ist so dünn, dass sie nicht imstande wäre, sich selbst zu halten, sie ist darauf angewiesen, von dem unter ihr liegenden unedlen Metall getragen zu werden. Die Galvanoplastik im engeren Sinne hingegen befasst sich damit, ein gegebenes Modell dadurch getreu nachzuahmen, dass man es mit einem dicken Metallüberzug versieht, welcher Metallüberzug so stark ist, dass er dauernd bestehen bleibt, wenn er auch vom Modell entfernt wird. Wir behandeln darum auch das Kapitel über Galvanoplastik in zwei Theilen. Der erste Theil soll von den Niederschlägen in dünnen Schichten handeln, der zweite Theil von den Niederschlägen in dicken Schichten.

I. Niederschläge in dünnen Schichten.

73. Decapierung. Bevor man auf einem metallischen Gegenstande einen metallischen Niederschlag erzeugt, ist es unumgänglich nothwendig, dass der Gegenstand möglichst sorgfältig gereinigt ist, denn die geringste Unreinlichkeit, die an der Oberfläche des Gegenstandes haftet, verhindert, dass der metallische Überzug in vollkommener Weise ausgeführt werden kann. Alle Arbeiten, die man an einem Körper behufs Reinigung seiner Oberfläche vornimmt, bezeichnet man in der

9*

Galvanoplastik mit dem Namen Decapierung. Die Decapierung ist bei den verschiedenen Materialien verschieden. Am umständlichsten und schwierigsten ist sie beim Kupfer und bei den Kupferlegierungen, wie Messing, Bronze, Neusilber und Argentan.

Beim Eisen, Blei oder Zinn ist sie eine wesentlich mechanische.

Decapieren des Kupfers und seiner Legierungen.

Dieses Decapieren zerfällt in 6 Operationen:

1. Ausglühung oder Entfettung mit Pottasche.
2. Beizen.
3. Passieren durch altes Scheidewasser.
4. Passieren durch Scheidewasser und Kienruß.
5. Passieren durch das Säuregemisch zum Brillantieren oder Mattieren.
6. Passieren durch salpetersaures Quecksilberoxyd.

74. Ausglühung oder Entfettung. Die Gegenstände, welche dem galvanoplastischen Verfahren unterzogen werden, sind an der Oberfläche immer verunreinigt. Diese Verunreinigungen bestehen aus Fettsubstanzen, herrührend von der Bearbeitung, wie speciell Feilen, Löthen und Polieren mit Öl oder dem bloßen Anfassen mit den Händen und aus einer dünnen Oxydschicht. Diese Verunreinigungen können nun leicht, wo es die Beschaffenheit der Körper zulässt, durch Erhitzen der Gegenstände über einem schwachen Kohlenfeuer zerstört werden. Diese Methode lässt sich jedoch nicht anwenden, wenn die Gegenstände sehr zart sind, oder wenn deren Theile durch Löthungen mit einander verbunden sind, die in der Gluthitze schmelzen. In solchen Fällen wendet man an Stelle des Glühens ein Kochen in einer Pottaschelösung oder in einer 2—4$^0/_0$ Sodalösung an. Durch dieses Kochen werden die Fettkörper verseift und damit löslich gemacht.

75. Das Beizen. Nach dem Ausglühen oder Entfetten kommen die Gegenstände in ein Gemisch von 12 Theilen Schwefelsäure und 88 Theilen Wasser. Die meisten Gegenstände können sofort, ohne Schaden zu nehmen, in die Flüssigkeit getaucht werden, nicht aber schlechte Legierungen, welche durch dieses Eintauchen und die damit verbundene rasche Abkühlung in Gefahr gerathen können, Risse und Sprünge zu erhalten. Kupfergegenstände darf man nicht eher aus der Beize herausnehmen als bis die schwarze Schicht Kupferoxyd, mit welcher sie sich beim Glühen bedecken, vollständig gelöst ist. Gegenstände, welche Theile aus Zink oder Eisen besitzen, dürfen in diese

Beize nicht gebracht werden, weil diese Theile vollständig gelöst würden. Diejenigen Stücke, welche mit Pottasche entfettet wurden, beizt man erst nach einer Abwaschung mit Wasser. Überhaupt ist darauf zu sehen, dass vor und nach allen später zu beschreibenden Operationen die Gegenstände rasch einer gründlichen Reinigung mit Wasser zu unterziehen sind. Alle Manipulationen, welche das Decapieren umfasst, müssen rasch aufeinander folgen und die Gegenstände in den Bädern und in den Waschwässern möglichst viel bewegt werden. Nach Beendigung dieser Verfahren werden die Gegenstände am Ende einer, mit einem Holzgriff versehenen, Kupferstange mit einem Messingdrahte befestigt. Mit dieser Stange kann der Arbeiter leicht in den Decapiergefäßen arbeiten. Sind die Gegenstände zur Befestigung auf der Stange zu klein, dann kommen sie entweder in einen Korb mit gewölbtem Boden aus Steingut oder Porzellan, wenn die Gegenstände bloß in Flüssigkeiten eingetaucht werden sollen. Das Galvanisieren derselben erfolgt in einem Metallnetz. Die eben besprochenen Verfahren an den Gegenständen, welche man auch mit dem Namen Gelbbrennen bezeichnet, sollen wegen der sich dabei entwickelnden schädlichen Dämpfe entweder im Freien oder in einem mit gutem Luftabzug versehenen Abzugsraum vorgenommen werden. Es kann auch in dem Abbrennherd ein Körting'scher Dampfstrahlapparat verwendet werden, durch dessen Anwendung der Arbeiter von den schädlichen Dämpfen vollkommen bewahrt bleibt.

76. Passieren durch altes Scheidewasser. Nach dem Beizen kommen die Gegenstände in ein Gefäß, das durch vorhergegangene Verwendungen bedeutend abgeschwächte Salpetersäure enthält. In diesem Gefäße bleiben die Gegenstände solange, bis der gelbe Überzug von Kupferoxydul, der nach dem Gelbbrennen sich an den Gegenständen befindet, vollkommen verschwunden ist. Viele Praktiker verzichten auf dieses Verfahren, was sich aber durchaus nicht empfiehlt. Zunächst deshalb, weil man bei Anwendung dieses Theiles des Decapierens an neuen, ungebrauchten Säuren spart. Ein anderer Grund ist der, dass es vorkommt, dass der Kupferoxydulüberzug nicht völlig die Oberfläche der Körper deckt sondern einzelne Theile blank lässt. Diese Theile würden nun in koncentrierter Säure ungemein stark angegriffen werden. Bei Verwendung alter Salpetersäure jedoch leiden diese Stellen während der Lösung des Kupferoxyduls lange nicht in dem Maße als bei Verwendung frischer Säure. Wegen des Außerachtlassens des letzteren Umstandes erhalten manche Praktiker bei der sofortigen Verwendung frischer Säure oft zerfressene oder runzelige Stücke.

77. Passieren durch Scheidewasser und Kienruß. Nach dem Abwaschen und Abtropfen kommen die Gegenstände in eine Lösung, bestehend aus 100 Theilen 36°-iger Salpetersäure, sogenannte gelbe Salpetersäure, 1 Theil Kochsalz und 1 Theil geglühtem Kienruß. Die eingetauchten Metalle werden von dieser Lösung ungemein heftig angegriffen, weshalb sie nur einige Sekunden in ihr bleiben dürfen. Die Flüssigkeit soll das 20 bis 30 fache Volumen der eingetauchten Gegenstände haben, sonst würde die Salpetersäure sich sehr stark erhitzen und das Bad bald unbrauchbar werden. Nach dem Herausnehmen aus dem Bade und raschem Abwaschen der Gegenstände zeigen dieselben je nach dem verwendeten Kupfer, eine schöne rothe, goldglänzende oder grüne Farbe.

Allein noch immer ist die Oberfläche nicht rein, wie man etwa zu glauben versucht wäre. Man kann das sehr einfach beweisen. Unterzieht man nämlich die Gegenstände in ihrem jetzigen Zustande einer galvanischen Versilberung oder Vergoldung, dann würde die Oberfläche derselben nach dem Vergolden oder Versilbern durchaus nicht metallisch glänzend sein, sondern völlig schwarz. Wäscht man die Gegenstände nach dem Herausnehmen aus dem Bade nicht ab, sondern lässt sie mit der Luft in Berührung, dann bilden sich reiche Dampfmengen von salpetriger Säure und nach dem Verschwinden der Dämpfe bleiben die Stücke schwarz, selbst wenn man sie jetzt noch einer Waschung unterzieht. Dieses Verfahren nennt man Schwärzen mit Salpetersäure.

78. Passieren durch Scheidewasser zum Brillantieren. Dieses Verfahren, welches darin besteht, dass man die Gegenstände einige Minuten lang in einem Bade der folgenden Zusammensetzung lässt:

Alte Salpetersäure	1 Theil,
Salzsäure	6 Theile,
Wasser	2 Theile,

wird dann angewendet, wenn die Oberflächen durch eine schlechte Decapierung matt geworden oder oberflächlich angegriffen sind. Die Stücke kommen völlig schwarz aus dem Bade und müssen nun aufs Neue decapiert werden.

Passieren durch Säuregemisch zum Brillantieren.

Man taucht nun, unter beständigem Hin- und Herbewegen, die Stücke ein oder zwei Sekunden lang in ein am Abend vorher bereitetes Gemisch, bestehend aus

36° Salpetersäure	10	*kg*,
66° Schwefelsäure	5	„
Kochsalz	0·2	„
Glanzruß	0·25	„ .

Diese Mischung muss deshalb am Abend vorher gemacht werden, weil bei der Bereitung der Mischung dieselbe sich stark erhitzt und zum Erkalten längere Zeit braucht. Bereitet man die Lösung am selben Tage, dann muss man sie künstlich abkühlen, indem man das sie enthaltende Gefäß mit Eis oder kaltem Wasser umgibt. Nach dieser Arbeit sind die Messing- und Kupfergegenstände hell und glänzend, ihre Reinigung ist eine vollkommene. Man kann auch ein solches Säuregemisch verwenden, dass die Gegenstände nach dem Herausnehmen aus der Lösung ein mattes Ansehen haben, und so durch diese Verfahren eine matte Feuervergoldung genau imitieren. Eine solche Lösung zum Mattbrennen ist z. B. die folgende:

Salpetersäure	1000 *gr*,
Schwefelsäure	1000 „ ,
Ruß	16 „ ,
Gestoßener Salmiak	10 „ ,
Zink (vorher in Salpetersäure gelöst) . . .	6 „ ,
Schwefelblüte	5 „ .

Die Mischung bleibt mehrere Stunden lang stehen, dann erst wird das zu brennende Stück solange eingetaucht, bis es den gewünschten matten Ton hat. Nach dem Herausnehmen aus dem Bade wird der Gegenstand rasch durch eine Glanzbrenne gezogen.

79. Passieren durch salpetersaures Quecksilberoxyd. Die Gegenstände kommen nun in ein Bad folgender Zusammensetzung:

Wasser	10 *kg*,
Salpetersaures Quecksilberoxyd	4 *gr*,
Salpetersäure oder Schwefelsäure . . .	10 „ .

Die Menge des nothwendigen Quecksilbersalzes ist keine bestimmte, sie richtet sich vielmehr nach den Gegenständen. Sind es Gegenstände, welche bloß einen dünnen Überzug bekommen sollen, dann genügt eine kleinere Menge des Quecksilbersalzes. Handelt es sich jedoch um Gegenstände, welche dicke galvanische Niederschläge erhalten sollen, dann wird mehr von dem Salze genommen. Im letzteren Falle schauen dieselben nach dem Herausnehmen aus der Lösung weiß und glänzend, wie versilbert aus. Das ist auch eine Probe dafür, ob die Decapierung eine gute war. War dieselbe mangelhaft, dann zeigen die Gegenstände an der Oberfläche verschiedene Schattierungen und keinen metallischen Glanz. Wir betonen nochmals, dass die einzelnen Arbeiten der Decapierung ungemein rasch und ohne irgend welche Unterbrechung aufeinander folgen müssen.

80. Decapierung des Silbers. Zunächst werden die Silbergegenstände bis zur dunklen Rothglut erhitzt. War das Silber rein, dann zeigt es nach dem Glühen an der Oberfläche ein dünnes, bläuliches Häutchen, das von der Verbrennung thierischer und vegetabilischer Gegenstände herrührt, die infolge der Hantierungen an der Oberfläche abgelagert sind. Enthielt das Silber Kupfer beigemengt, dann erscheinen die Stücke nach dem Glühen mit einer schwärzlichgrauen Kruste bedeckt. Nach dem Erkalten kocht man die Gegenstände in einer Flüssigkeit, bestehend aus 90% Wasser und 10% Schwefelsäure, 1—2 Minuten lang. Man kann die geglühten Silbergegenstände auch in Wasser kochen, dem 1 Theil Weinstein und 2 Theile Kochsalz beigemengt sind. Wurden die Gegenstände hinreichend erhitzt, dann müssen sie nach dem Herausnehmen aus der Beize ein mattes, vollkommen weißes Ansehen haben. Im andern Falle ist das Glühen und Beizen bis zur Erreichung des angestrebten Zweckes zu wiederholen. Besitzen die Silbergegenstände auch Theile aus Zink oder Eisen, dann kann man diese Art des Decapierens nicht anwenden. Man entfettet dann die Gegenstände mit Pottasche, und reinigt sie hierauf mit Hilfe kurzborstiger, harter Bürsten mit feinem Sand oder gepulvertem Bimstein. Bringt man die so vorbereiten Gegenstände in ein elektrolytisches Bad, dann haben dieselben nach Beendigung des Verfahrens dasselbe matte Aussehen wie vorher. Brillantiert man dann beliebige Stellen mit einem Polierstahl, dann kann man die Wirkung des Stückes durch das verschiedenartige Aussehen seiner Oberfläche erhöhen.

Gewöhnlich werden jedoch die Gegenstände vor dem Eintauchen in das Bad dem sogenannten Kratzbürsten unterworfen. Darunter versteht man ein Verfahren, welches darin besteht, die Oberfläche eines Metallgegenstandes von dem bedeckenden Matt oder von Verunreinigungen dadurch zu reinigen, dass man auf die Oberfläche eine Schar gerader und steifer Messingdrahtspitzen einwirken lässt. Die Werkzeuge die zu diesem Zwecke dienen, heißen Kratzbürsten. Man unterscheidet: 1. Die Circular-, 2. die Hand- und 3. die Pinselkratzbürste. Die Formen, welche diese Bürsten besitzen, entsprechen ihren Namen. Die Circularkratzbürste hat, auf einer Cylinderfläche angeordnete, Messingdrahtbündel, die Handkratzbürste hat die Form irgend einer Handbürste, und die Pinselkratzbürste besteht aus einem mittelst eines Drahtes zusammengeschnürten Messingdrahtbündel. Während des Kratzens werden immer, sowohl die Gegenstände als auch die Bürsten befeuchtet. Das geschieht, um einerseits die Reibung zu vermindern, andererseits um die losgelösten Unreinheiten fortzuführen. Dieses Bürsten wird immer nach dem Herausnehmen aus dem elektrolytischen Bade vorgenommen. Ist der Nieder-

schlag gut gelungen, dann werden die Gegenstände durch das Bürsten lediglich poliert, haftet jedoch der Niederschlag schlecht an der Oberfläche, dann schaut diese nach dem Bürsten schuppig und zerrissen aus, da durch dasselbe der Niederschlag dann von der Oberfläche theilweise losgerissen wird. Zum Befeuchten des Gegenstandes und der Bürsten während der Arbeit verwendet man eine Flüssigkeit, bestehend aus 1 Pfund Seifenwurzel und 6 *l* Regenwasser. Die Bürsten müssen sehr rein, die Drähte immer gerade und steif gehalten werden.

81. Decapierung von Zink. Das Zink findet heutzutage eine mannigfache Verwendung, speciell im Kunstgewerbe. Um solchen Kunstgegenständen ein schönes Aussehen zu geben, werden sie gewöhnlich vergoldet, versilbert oder mit einem Belag von Rothkupfer oder Messing versehen, welche Beläge, durch chemische Verfahren, die man an ihnen vornimmt, gestatten, den Gegenständen ein bronzeartiges Ansehen zu geben. Um die Gegenstände zu decapieren, begnügt man sich gewöhnlich, sie mit der Kratzbürste zu behandeln oder mittels einer rauhen Bürste unter Zuhilfenahme von Sand oder Bimsteinpulver. Man kann das Zink auch einige Minuten in mit Schwefelsäure oder Salzsäure schwach angesäuertes Wasser bringen. Diese Methoden sind unvollkommen. Die Decapierung ist eine vollständige, wenn man die Zinkgegenstände rasch in ein abends vorher bereitetes Gemisch, bestehend aus

100	Volumtheilen	Schwefelsäure,
100	„	Salpetersäure,
1	„	Kochsalz

taucht und dann schnell mit Wasser abwäscht. Oft muss man eine Verkupferung oder Vermessingung wiederholen, weil sie misslungen ist. In diesem Falle empfiehlt es sich, den Niederschlag zunächst vollständig zu entfernen und hierauf den Gegenstand wieder in das elektrolytische Bad zu bringen. BeimEntfernen des Niederschlages wird der Gegenstand zunächst in starkes Scheidewasser getaucht, bis er infolge Lösung des Kupfers schwarz aussieht und hierauf in das oben angegebene Säuregemisch gebracht. Nach dem Herausnehmen aus diesem Gemisch ist der Gegenstand völlig weiß.

82. Decapierung von Blei und Zinn. Gegenstände aus diesen Metallen werden am besten dadurch decapiert, dass man sie einige Minuten in ein Gemisch von kochendem Wasser mit 5% stark gesättigter Soda bringt und hierauf mit der Kratzbürste behandelt.

83. Decapierung des Gusseisens. Gegenstände aus diesem Metall werden dadurch decapiert, dass man sie 2—3 Stunden in eine Lösung von Wasser und 1% Schwefelsäure bringt. Nach diesem Eintauchen werden sie mit frischem Wasser abgewaschen und sodann mit Hilfe von Sand und einem Leinenbausch oder einer Bürste abgerieben. Will man das Gusseisen versilbern, vergolden, verkupfern oder vermessingen, dann muss man es vorher immer erst verzinnen.

84. Decapierung des Stabeisens. Diese Decapierung erfolgt ebenso wie die des Stabeisens, nur besteht das Bad aus 90 Theilen Wasser und 10 Theilen Schwefelsäure.

85. Decapierung des Stahles. Sind Stahlgegenstände poliert, dann kommen sie zunächst behufs Entfettung in eine kochende Pottaschelösung. Hierauf werden die Gegenstände mit Bimsteinpulver abgerieben, um die Politur derart zu schwächen, dass der galvanische Niederschlag sicher hält. Nun kommen dieselben einige Sekunden lang in ein Bad, bestehend aus

Wasser	1000 *g*,
Salzsäure . . .	300 *g*,

um hierauf rasch mit kaltem Wasser abgewaschen zu werden. Während sich Stabeisen und Stahl leicht galvanisch vergolden lässt, gelingt eine Versilberung nicht. Es müssen zum Zwecke einer Versilberung die Gegenstände zuerst mit einem Kupfer- oder Messingüberzug versehen werden. In neuerer Zeit lässt man oft an die Stelle einer Versilberung eine Vernickelung treten, welche ohne Zwischenüberzug an den Eisenstücken haftet. Bei vielen Metallen spielen demnach die Verfahren des Verkupferns, Vermessingens und Verzinnens Theilverfahren ihrer Decapierung.

86. Stromlieferung. Wir wollen uns nun mit den Apparaten beschäftigen, welche dazu dienen, den für die Zerlegung des Metallbades nothwendigen Strom zu liefern. Zu diesen Apparaten gehören die elektrischen Batterien und die Dynamomaschinen.

87. Die elektrischen Batterien. Galvanische Batterien sind Vereinigungen sogenannter galvanischer Elemente, in welchen der Strom durch die Wirkung chemischer Kräfte erzeugt wird. Die in der Galvanoplastik am häufigsten verwendete Batterie ist die Batterie aus Bunsenelementen bestehend. Das Bunsenelement besteht aus einem,

in verdünnte Schwefelsäure getauchten, Zinkcylinder und einer Kohlenplatte, die sich in einer, mit 36° Salpetersäure gefüllten porösen Thonzelle befindet. Die Kohle bildet den positiven, das Zink den negativen Pol. Alle 3 oder 4 Tage müssen die Flüssigkeiten erneuert werden. Eine andere oft verwendete Batterie besteht aus Meidingerelementen. Das Meidingerelement besitzt einen, in Bittersalzlösung getauchten, Zinkcylinder und einen, in Kupfervitriollösung getauchten, Kupferring. Diese Batterie bleibt ein volles Jahr konstant. Nach dieser Zeit werden die Zinkcylinder ausgewechselt und die Flüssigkeiten erneuert. Zum Vergolden und Versilbern, zu welchen Verfahren diese Batterie sich besonders eignet, werden 8 bis 10 Stück 22 *cm* hohe Elemente, ohne Ballon, verwendet. Die aus Grove-Elementen bestehende Batterie hat den Nachtheil eines, wegen des verwendeten Platins, erhöhten Preises. Die Grove-Elemente zeigen den gleichen Aufbau wie die Bunsenelemente, nur befindet sich in der Salpetersäure statt der Kohlenplatte ein Platinblech. Die Smee'schen Elemente, die ebenfalls oft verwendet werden, bestehen aus 2 Zinkplatten, zwischen welcher eine stark vergoldete, versilberte oder platinierte Kupferplatte sich befindet. Alle 3 Platten tauchen in angesäuertes Wasser oder auch in Salzwasser. Zu starken Versilberungen sowie zu galvanoplastischen Silberniederschlägen verwendet man oft 1 bis 2 große Smee-Elemente.

88. Dynamomaschinen für galvanoplastische Zwecke. Der Gebrauch von galvanischen Elementen zur Stromerzeugung in galvanoplastischen Werkstätten ist mit zahlreichen Übelständen verbunden. Wir erwähnen nur die sich entwickelnden lästigen und schädlichen Dämpfe, die unkonstante Stromstärke, die umständliche Wartung und der relativ hohe Preis. Darum sind alle modernen und größeren Betriebe zur Verwendung von Dynamomaschinen übergegangen. Oft finden auch Akkumulatorenbatterien Verwendung, die von der Dynamomaschine geladen werden. Man hat dadurch die Annehmlichkeit, Ströme benützen zu können, die ungemein leicht zu regulieren und sehr konstant sind, was besonders in der Galvanoplastik von großer Bedeutung ist.

Wir wollen nun einige Maschinen, die in der Galvanoplastik häufig verwendet werden, anführen.

Die Maschine für Galvanoplastik der E. A. vormals Schuckert & Co. ist eine Außenpolmaschine mit 4 radial angeordneten Magnetpolen. Die Ankerwicklung ist eine aus rechteckigen Stäben bestehende Stabwicklung. Alle Maschinen dieser Type haben eine Klemmenspannung von 4 Volt. Es dürfte von Interesse sein, die Leistungen verschiedener Modelle dieser Type kennen zu lernen.

Modell	Strom-stärke in Amp.	Maximaler stündl. Niederschlag				Touren-zahl	Kraft-bedarf *PS*
		Nickel *g*	Kupfer *g*	Silber *g*	Gold *g*		
AG 1/10	25	27	30	100	61	2000	0·27
AG 1/5	50	55	59	201	123	1800	0·5
AG 1/3	100	110	118	402	245	1700	0·9
AG 1	250	275	295	1005	614	1500	1·9
AG 3	625	685	740	2515	1535	1300	4·7

Für galvanoplastische Niederschläge von Kupfer genügt eine Klemmenspannung von 2 Volt. Werden die oben angeführten Maschinen für 2 Volt gebaut, dann können sie fast die doppelten der in obiger Tabelle angeführten Stromstärken liefern.

Eine andere Art von Dynamomaschinen für elektrolytische Zwecke baut die Siemens & Halske A. G. Der geschlossene Bau der Maschine schützt dieselbe vor äußeren Verletzungen. Sie ist eine zweipolige Außenpolmaschine. Die Firma liefert von dieser Maschine Modelle verschiedener Größe. Diese arbeiten mit einer Spannung von 4—6 Volt und liefern eine Stromstärke von 25 bis 300 Ampère.

Erwähnen wollen wir noch, dass sich auch die Alldemeine Elektricitätsgesellschaft in Berlin, die Vereinigte E. A. G. in Wien, Ganz & Co. in Budapest, C. & D. Fein in Stuttgart und viele andere Firmen mit dem Baue von Dynamomaschinen zu elektrolytischen Zwecken befassen. Wenn sich am Orte des Betriebes eine elektrische Centrale oder eine Fernleitung einer Kraftübertragung befindet, wird der elektrische Strom dieser entnommen und mittels Umformern in niedergespannten Gleichstrom verwandelt.

89. Schaltungsschema. Die Fig. 74 zeigt das Schaltungsschema einer galvanoplastischen Anlage mit zwei Bädern. Der Strom wird einem elektrischen Vertheilungsnetz entnommen und einem Motor zugeführt. Dieser Motor ist unmittelbar mit der Dynamomaschine gekuppelt, welche den für die Elektrolyse geeigneten Strom liefert. Parallel zur Dynamomaschine liegt eine Akkumulatorenbatterie, welche bei Nacht oder an Feiertagen, an welchen der Betrieb sehr eingeschränkt ist, den Betrieb allein übernehmen kann.

Bei der Galvanisierung, das heißt bei dem elektrolytischen Verfahren, das zur Herstellung dünner Metallniederschläge dient, werden die Bäder parallel geschaltet. Bei diesem Verfahren haben nämlich die einzelnen Bäder gewöhnlich verschiedene Zusammensetzung und

verschiedene Besetzung. Um sie nun, da sie infolge dieses Umstandes verschiedene Betriebsbedindungen fordern, von einander möglichst unabhängig zu machen, werden sie parallel geschaltet. Bei der Galvanoplastik hingegen werden die Bäder hintereinander geschaltet.

Wir wollen nun daran gehen, verschiedene Methoden und Verfahren kennen zu lernen, um Metallniederschläge in dünnen Schichten zu erhalten.

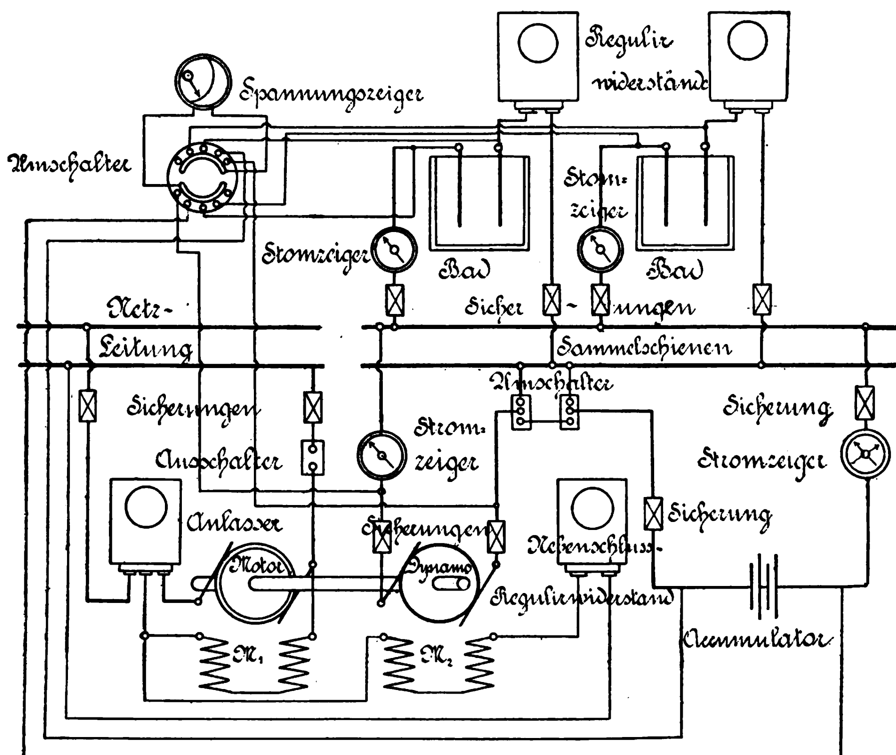


Fig. 74. Schaltungsschema einer galvanoplastischen Anlage.

90. Verkupferung.

Verkupferung durch Eintauchen. Diese Art der Verkupferung wird fast nur beim Stabeisen angewendet und hat geringe Festigkeit. Das bei diesem Verfahren angewendete Bad hat folgende Zusammensetzung:

Schwefelsaures Kupferoxyd	100 *gr*,
Vitriolöl	100 „ ,
Brunnenwasser	5 *kg*.

Wird das Eisen durch die Lösung gezogen, dann bedeckt es sich mit einem glänzenden rothen Kupferhäutchen, das ziemlich gut haftet.

Lässt man jedoch die Gegenstände aus Eisen einige Minuten im Bade, dann bedecken sie sich mit einem dicken Brei reducierten Kupfers und man ist genöthigt, um dem Überzuge einige Festigkeit zu geben, zum Zieheisen oder zur Streckmaschine zu greifen. Auf diesem Wege werden sehr häufig Eisendrähte verkupfert.

Verkupferung mit Hilfe des galvanischen Stromes. Diese Art der Verkupferung eignet sich für alle Metalle und Legierungen, nur muss die Zusammensetzung des Bades dem Metalle angepasst werden. Im Folgenden geben wir einige Vorschriften an.

91. In der Kälte wirkendes Bad für Eisen und Stahl.

Schwefligsaures Natron	500	*gr*,
Cyankalium	500	„ ,
Kohlensaures Natron	1000	„ ,
Essigsaures Kupferoxyd (Grünspan)	475	„ ,
Ammoniak	350	„ ,
Destilliertes Wasser	25	*kg*.

Als Anode ist Kupfer oder Platin zu verwenden.

92. Bad für Zink.

Kupfervitriol	125	*gr*,
Weinstein	127	„ ,
Krystallisiertes, kohlensaures Natron .	285	„ .

Zunächst löst man jedes Salz für sich in 2 Liter Wasser. Hierauf werden die Lösungen von Weinstein und Natron gemischt und der Kupferlösung beigemengt. Bei dieser Mischung fällt ein grüner Niederschlag, aus weinsaurem Kupferoxyd bestehend, aus der Lösung heraus. Die Lösung wird nun filtriert und in $^1/_2$ Liter 16° Ätznatronlösung gelöst.

93. Bad für Messing, Eisen und Zink.

Cupron	1 *kg* = 2·8 *kg* Grünspan,
$^{98}/_{100}$ % Cyankalium	3 „ ,
Wasser	150 Liter.

Das Cupron wird mit einer zehnfachen Wassermenge zu einem Brei angerührt. Sodann wird das Cyankalium in Stücken zugesetzt und solange gerührt, bis alles Cyankalium gelöst ist. Jetzt kommen die 150 Liter Wasser dazu und 3 *kg* doppelschwefelsaures Natron in wässeriger Lösung.

94. Herstellung und Vorbereitung der Bäder. Bäder, welche kalt verwendet werden, kommen in eine Wanne von Eichen- oder Tannenholz, die zum Zwecke guten Dichthaltens, mit Guttapercha oder Asphalt ausgeschlagen ist. Meistens verwendet man in Holz gefasste Wannen aus Steingut oder Thon. Als Anode dienen Kupferplatten, welche die inneren Wände der Wanne bedecken. Als Kathode dient eine am oberen Rande der Wanne angebrachte Gallerie aus Messing. Die zu verkupfernden Gegenstände werden nun an Messingstäben mittels Haken oder Drähten befestigt, welche Messingstäbe quer über die Wanne gelegt werden, so dass sie mit ihren Enden auf der Messinggallerie ruhen. Lässt man die Gegenstände nur kurze Zeit im Bade, dann sind dieselben nach dem Herausnehmen mit einem dünnen glänzenden Überzug versehen und bedürfen keinerlei Nacharbeit. Hat das Verfahren längere Zeit gedauert, dann ist das Aussehen der Körper matt und sie müssen jetzt erst, um wieder glänzend zu werden, einer Behandlung mit der Kratzbürste unterworfen werden.

Soll das Bad während der Elektrolyse erwärmt werden, dann geht man folgendermaßen vor. Die elektrolytische Flüssigkeit kommt in ein Gefäß von Steingut oder Fayence, welches in ein erwärmtes Wasserbad getaucht wird. Verwendet man als Gefäß einen emaillierten Gusseisentopf, dann erfolgt die Erwärmung auf einem freien Feuer Als Anode dienen wieder Kupferbeläge an den inneren Wänden des Topfes. Der obere Gefäßrand ist umgebogen und trägt einen Kupferreif, der als Kathode dient. Die zu verkupfernden Gegenstände werden wieder an auf den Reif gelegten Messingstäben befestigt. Die heiße Verkupferung geht viel rascher vor sich, als die Verkupferung im kalten Bade und findet besonders bei schwer zu decapierenden Gegenständen Anwendung. Wohl löst sich während der Elektrolyse die kupferne Anode, jedoch nicht in dem Maße, um den durch das elektrolytische Verfahren eintretenden Kupferverbrauch zu decken. Aus diesem Grunde ist man genöthigt, wenn sich der Niederschlag zu langsam bildet, dem Bade eine gewisse Menge von essigsaurem Kupferoxyd und eine gleiche Menge von Cyankalium zuzusetzen.

95. Vermessingung. Im allgemeinen ist der Vorgang bei der Vermessingung der gleiche wie bei der Verkupferung. Eine elektrolytische Lösung zur Vermessingung von Kupfer, Eisen und Zink ist die folgende:

Zinkvitriol	500 *g*,
Kupfervitriol	80 *g*,
96—98% Cyankalium . . .	800 *g*,
Wasser	50 *l*.

Die Lösung wird gekocht, filtriert und kalt verwendet. Setzt man der Lösung mehr Kupfervitriol zu, dann erscheint der Niederschlag mehr roth, beim Zusatz von mehr Zinksalz, mehr grün. Die Anode besteht bei dieser Elektrolyse aus Messing. Nachdem bei diesem Vorgange zwei Metallsalze von verschiedener Widerstandskraft zerlegt werden müssen, ist es ziemlich schwierig, einen gleichmäßigen Überzug zu erhalten. Ein zu schwacher Strom zersetzt vornehmlich das Kupfersalz, ein zu starker Strom vornehmlich das Zinksalz. Im ersteren Falle sieht der Niederschlag roth, im letzteren Falle weiß oder bläulichweiß aus. Man muss darum bei einer Vermessingung nicht nur die Stromstärke und die Stromdichte genau regulieren, sondern auch sonst noch auf die Bildung des Niederschlages einwirken, was z. B. dadurch geschieht, dass man die Messinganode zeitweilig durch ein Kupferblech und zeitweilig durch ein Zinkblech ersetzt. Der Messingüberzug auf Zink und Eisen wird ziemlich stark gemacht, gekratzt, hierauf in mit etwas Kalk versetztem Wasser abgewaschen und in einem Trockenschrank getrocknet.

96. Verzinnung.

Tauchverzinnung. Diese Art der Verzinnung besteht darin, dass man die zu verzinnenden Gegenstände in ein zinnhaltiges Bad taucht. Der dadurch entstehende Niederschlag hat nur geringe Festigkeit. Ein solches für die Verzinnung von Eisen und Zink passendes Bad besteht aus:

Amoniakalaun	300 *g*,
Geschmolzenes Zinnchlorür .	10 *g*,
Wasser	20 *l*.

Diese Lösung wird bis zur Siedehitze erwärmt und in ihr die decapierten Gegenstände eingetaucht.

Galvanische Verzinnung. Eine kalt anzuwendende Lösung hat nach Taucher in Stuttgart folgende Zusammensetzung:

Zinnsalz	0·5 *kg*,
Pyrophosphorsaures Natron .	1 *kg*,
Wasser	50 *l*.

Die beiden Präparate werden im heißen Wasser gelöst. Die Lösung bleibt nun einige Stunden stehen bis sie erkaltet und völlig klar geworden ist.

97. Vergoldung. Man unterscheidet zwei Arten von Vergoldung, die nasse und die trockene Vergoldung. Die trockene Vergoldung umfasst die älteren Methoden der Vergoldung, wie speciell die Feuer-

vergoldung. Wenn auch die galvanische Vergolduug in neuerer Zeit wesentliche Fortschritte gemacht hat, so muss man doch sagen, dass sie die Feuervergoldung sowohl in Bezug auf Festigkeit als auch Schönheit noch nicht erreicht hat. Wir wollen nun einige Methoden der nassen Vergoldung kennen lernen.

Kontakt-Vergoldung. Eine für dieses Verfahren geeignete Lösung hat die folgende Zusammensetzung:

Pyrophosphorsaures Kali oder Natron . . .	800 *g*,
Blausäure	8 *g*,
Krystallisiertes Goldchlorid	24 *g*,
Destilliertes Wasser	10 *kg*.

Die Lösung von 9 *kg* Wasser und 800 *g* Kalisalz wird erhitzt, filtriert und erkalten gelassen. Unterdessen bereitet man in einem Glaskölbchen das Goldchlorid nach folgendem Recepte:

Fein gewalztes, gediegenes Gold . .	10 *g*,
Reine Salzsäure	32 *g*,
Reine Salpetersäure	16 *g*.

Der Boden des Kölbchens wird schwach erhitzt. Es entwickeln sich orangerothe Dämpfe, und nach einigen Minuten ist das Gold vollständig gelöst. Um den Überschuss an Säuren zu verdampfen, bringt man das Glaskölbchen auf ein Eisenblech, das in der Mitte ein 3 *cm* weites Loch besitzt und erwärmt es über einem Ofen oder einer Spirituslampe. Ist die Lösung dickflüssig und entweichen keine Dämpfe mehr, dann wird das Glas vom Bleche abgehoben und die Flüssigkeit erkalten gelassen. Dabei erstarrt das Goldchlorid zu safrangelben, nadelförmigen Krystallen. Das Goldchlorid wird nun in destilliertem Wasser gelöst und die Lösung filtriert. Hierauf mengt man die Goldchloridlösung der Lösung des Pyrophosphats bei, setzt 8 *g* Blausäure zu und erhitzt das Bad bis zum Sieden. Die vergoldeten Gegensände werden im frischen Wasser gewaschen, in trockenen und warmen Sägespänen getrocknet und hierauf poliert. Diese Methode der Vergoldung wendet man gewöhnlich nur bei Kupfer und Kugferlegierungen an.

Galvanische Vergoldung. Diese Art der Vergoldung kann man bei allen Metallen verwenden. Bei großen Gegenständen bedient man sich gewöhnlich der kalten Vergoldung, bei kleinen Gegenständen der Vergoldung in erhitzten Bädern. Die warme Vergoldung ist schöner und fester. Ein Recept zur Herstellung eines in der Kälte wirkenden Goldbades ist das folgende: Es wird eine Lösung von 10 *g* Gold in Königswasser hergestellt. Zur Lösung schüttet man 2 *l* Wasser und so viel Ammoniak, dass das Wasser oben rein ist. Hierauf wird die

Flüssigkeit filtriert. Nun kommt das Gold sammt dem Filter in eine Lösung von 60 *g* 96%igen Cyankaliums in 10 *l* Wasser, welche Mischung gekocht und nach dem Erkalten filtriert wird. Die in der Kälte wirkenden Bäder kommen in Tröge aus Steingut, Porzellan oder in mit Guttapercha ausgekleidete, hölzerne Wannen. Als Anode dient ein Gold- oder Platinblech. Als Kathode dient eine am Rande der Wanne befindliche Einfassung aus Messing, an welche mittels Haken die Gegenstände gehängt werden. Von Zeit zu Zeit müssen dem Bade kleine Mengen von Chlorgold und Cyankalium zugesetzt werden. Wenn das Bad nicht verwendet wird, dann muss die Goldanode aus dem Bade entfernt werden. Die Vergoldung in der Kälte geht langsam vor sich. Ist der zersetzende Strom zu stark, wird die Vergoldung schwarz oder roth, ist der Strom zu schwach, dann werden nur die der Anode zugewandten Theile der Gegenstände vergoldet. Man muss darum auch oft die Gegenstände im Bade umdrehen.

Zur Herstellung von Bädern zur heißen Vergoldung gibt es eine ganze Reihe von Vorschriften. Eine davon lautet:

Gold	10 *g*,
Cyankalium	160 *g*,
Pyrophosphorsaures Natron .	80 *g*.

Das Bad wird wie bei der kalten Vergoldung hergestellt, eine Stunde gekocht, filtriert und im Gebrauche auf 100° erhitzt. Als Anode dient ein Platindraht oder Platinblech. Durch mehr oder weniger Eintauchen des Drahtes wird die Stromstärke reguliert. Taucht man ihn wenig ein, dann fällt die Vergoldung blass aus, bei tieferem Eintauchen erscheint sie gelb und schließlich, bei völligem Untertauchen, roth. Die zu vergoldenden Gegenstände werden nicht aufgehängt, sondern fortwährend in der Flüssigkeit bewegt, um eine gleichmäßige Vergoldung zu erhalten.

Wir wollen noch einiges über die Feuervergoldung sagen. Zunächst erzeugt man sich ein Goldamalgam auf folgendem Wege: In einem Tiegel wird über einem Kohlenfeuer reines Quecksilber auf 100° erhitzt. Nun setzt man die Hälfte seines Gewichtes reines Gold hinzu und rührt mit einem eisernen Stäbchen um. Dieses Amalgam von wachsartiger Konsistenz formt man zu kleinen Kügelchen, welche in, mit Wasser gefüllten Fläschchen, aufbewahrt werden. Nun streicht man das Amalgam auf einen harten Stein. Dann nimmt man eine mit starken Drähten besetzte Kratzbürste, taucht dieselbe in eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd und streicht mit ihr einen Theil des Amalgams ab. Mit dieser Bürste wird nun der gut decapierte Gegen-

stand gekratzt. Der Gegenstand kommt dann über ein auf einer gusseisernen Platte angemachtes Kohlenfeuer ohne Zug. Bei diesem Verfahren verdampft das Quecksilber und der Arbeiter reibt inzwischen auch den Gegenstand mit einer langborstigen Bürste, um die Vergoldung gleichförmig zu machen. Jetzt wird der Gegenstand gekratzt und zur Verschönerung seines Ansehens wieder erhitzt.

98. Versilberung. Es gibt eine ganze Reihe zum Theil veralteter Verfahren, um eine Versilberung herzustellen. Nur kurz erwähnen wollen wir die Plattierung, die in einem Auftragen von, auf Rothkupferblechen gelötheten Silberblechen auf Modellen besteht. Nach dem Modellieren wird der Hohlraum mit Blei, einem Kitt oder mit Gips ausgefüllt.

Unter Weißsieden mit Silber versteht man folgendes Verfahren: Aus Chlorsilber, etwas Wasser und Weinsteinrahm wird ein Teig angemacht. Diesen Teig löst man in heißem Wasser und taucht in die Lösung die aus Kupfer bestehenden Gegenstände an einem Haken befestigt oder in einem Seiher liegend ein.

Eintauchversilberung. Diese Methode wird besonders bei kleinen Gegenständen angewendet. Man führt sie auf Messing und Kupfer in der Siedehitze aus. Eine für diese Art der Versilberung geeignete, Lösung hat folgende Zusammensetzung:

Destilliertes Wasser . . .	5000 *g*,
Cyankalium	100 *g*,
Aufgelöstes Silber	20 *g*.

Galvanische Versilberung. Diese Art von Versilberung hat in neuerer Zeit eine ungemein große Bedeutung erhalten. Wir wollen zunächst ein Recept zur Herstellung eines geeigneten Bades angeben. Dasselbe lautet:

Aufgelöstes Silber	100 *g*,
96% Cyankalium	220 *g*,
Wasser	15 *l*.

Das Gemisch der Chemikalien wird 30—50 Minuten gekocht und hierauf mit 15 Liter destilliertem Wasser oder Regenwasser vermengt. Das Bad findet kalt Verwendung. Heiß versilbert werden nur kleine Gegenstände. Die heißen Bäder bringt man in emaillierte oder verglaste, gusseiserne Töpfe. Die gut decapierten Gegenstände werden bei der letzteren Methode fortwährend im Bade bewegt. Bei kalten Bädern besteht die Anode aus Silber, bei heißen Bädern aus Platin in Draht- oder Blechform. Man wendet ziemlich starke Ströme an, doch darf der

Strom nicht zu stark sein, sonst schwärzen sich die an der Kathode befestigten Gegenstände. Im Verlaufe des elektrolytischen Verfahrens müssen die heißen Bäder durch Zusatz von gleichen Gewichtstheilen Cyankalium und Silbersalz, sowie Wasser erneuert werden. Enthält das Bad einen zu großen Überschuss von Cyankalium, dann scheidet sich das Metall auch ohne Stromdurchgang durch das Bad ab. Der Silberniederschlag, den man in einem solchen Bade erhält, hat gar keine Festigkeit. Die Versilberungsbäder, die kalt angewendet werden, kommen gewöhnlich in viereckige Wannen, die innen mit Guttapercha oder einem undurchdringlichen Kitt belegt sind. Oft bedient man sich auch der Steingutwannen oder mit Asphalt getränkter Holztröge. Der Rand der Wanne ist mit 2 Messinggalerien versehen. Diese beiden Galerien sind je mit einem Pole der Batterie oder Dynamo verbunden. Die zu versilbernden Gegenstände werden an die auf jener Galerie quer über dem Bade gelegten Messingstangen befestigt, welche mit dem negativen Pole verbunden ist. Eine zweite Gruppe von Messingstangen trägt die Anoden. Diese Messingstangen werden über die zweite Galerie gelegt. Da eine Galerie höher als die andere ist, berühren die Messingstangen, die über der einen Galerie liegen, die andere Galerie nicht. Die Messingstangen, die mit der Anode in Verbindung stehen und die, welche mit der Kathode verbunden sind, werden abwechselnd ins Bad gehängt. Während des Verfahrens kehrt man die Gegenstände einmal von oben nach unten um; dadurch vermeidet man, dass, wegen der stärkeren Koncentration der unteren Flüssigkeitsschichten, der Niederschlag an den Gegenständen unten dicker ausfällt, als an den oberen Partien. Die Gegenstände bleiben zunächst eine Stunde lang im Bade, hierauf werden sie gekratzt. Nun kommen sie in eine warme Cyankaliumlösung, hieraut in eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd und schließlich wieder ins Bad, in welchem sie jetzt 12—15 Stunden bleiben. Um den Niederschlag ganz gleichförmig zu machen, setzt man dem Bade vor dem Gebrauche etwas flüssigen Ammoniak zu, oder man lässt es vor dem Gebrauche einige Stunden kochen. Um zu vermeiden, dass die versilberten Gegenstände an der Luft bald gelb werden, was von der durch das Licht erfolgenden Zersetzung eines mit dem Metall gleichzeitig abgeschiedenen basischen Silbersalzes herrührt, lässt man die Gegenstände nach dem Unterbrechen des Stromes noch einige Augenblicke im Bade, damit das Cyankalium das basische Salz löst. Bei vielen Gegenständen ist es nothwendig, die niedergeschlagene Silbermenge nach dem Gewichte genau zu bestimmen. Die Einrichtung wird dann folgendermaßen getroffen. Siehe Fig. 75. An einer Wage befindet sich statt einer Schale eine kreisförmige Kathode, an welcher die zu versilbernden

Gegenstände befestigt und in das Bad getaucht werden. Als Anode dient ein central in das Bad getauchter Silberstab und manchmal auch eine Silberbelegung der Innenwand des kreisförmigen Gefäßes. Nach dem Eintauchen der Gegenstände wird die Wage tariert und auf die Wagschale soviel Gewicht aufgelegt, als der Niederschlag an Gewicht betragen soll. Das elektrolytische Verfahren bleibt nun solange unterhalten, bis der Wagebalken horizontal steht. Man kann die Sache auch so einrichten, dass in dem Augenblicke, in dem der Wagebalken einspielt, der Strom selbstthätig unterbrochen wird. Erwähnen wollen wir noch, dass das sogenannte oxydierte Silber dadurch herstellbar ist, dass man auf den Silberniederschlag eine Lösung von Schwefelammonium oder Schwefelkalium einwirken lässt, wodurch sich das Silber in schwarzblaues Schwefelsilber verwandelt.

99. Vernickelung. Die Vernickelung wird theils zu dem Zwecke vorgenommen, um Metallgegenständen ein hübscheres Aussehen zu verleihen oder auch zu dem Zwecke, um sie vor dem Verrosten zu schützen. Ein silberweiß vernickelndes Bad hat folgende Zusammensetzung:

Schwefelsaures Nickeloxydulammon	1 *kg*,
Raffinierte Borsäure	500 *g*,
Wasser	20 Liter.

Die Lösung wird $^1/_2$ Stunde gekocht und auskühlen gelassen. Zum Vernickeln genügt eine Bunsen'sche Batterie von 4—8 Elementen. Nach dem Herausnehmen aus dem Bade werden die Gegenstände einige Secunden in kochend heißes Wasser getaucht, abtropfen gelassen, in warmen Sägespänen getrocknet und poliert.

100. Verzinkung. Der Niederschlag ist grauweiß. Eine Vorschrift zur Herstellung eines Bades lautet: Man schlage ein lösliches Zinksalz mit Ammoniak nieder und löse den Niederschlag in einem Alkaliüberschuss. Ein anderes Bad kann man auch dadurch herstellen, dass man irgend ein Zinksalz in Cyankalium löst.

II. Erzeugung dicker Niederschläge.

101. Aufgabe der Galvanoplastik. Die galvanoplastischen Niederschläge bestehen aus Kupfer und haben eine Stärke von 1—3 Millimeter. Das Kupfer wird auf, mittels Graphitstaub metallisierten Formen aus Guttapercha, Wachs, Gips, Stearin oder Leim im Bade niedergeschlagen. Das Verfahren ist einfacher als das beim Galvanisieren angewendete, ebenso sind auch die schädlichen Wirkungen eines zu stark oder zu

schwach gewählten Stromes viel geringer. Der Niederschlag wird von der Form getrennt, und ist infolge seiner Stärke imstande, ohne Form zu bestehen. Er bietet, der Gestalt nach, eine genaue Wiedergabe der benützten Form. Die Galvanoplastik dient aber nicht allein dazu, Gegenstände nachzubilden, sondern auch dazu, vergängliche oder widerstandsunfähige Gegenstände vor Zerstörung oder Verletzung wenigstens ihrer Oberfläche zu bewahren. Die Gegenstände erhalten zu diesem Zwecke einen metallischen Überzug und sind so, bei völliger Erhaltung ihrer äußeren Form, vor Zerstörung oder Beschädigung bewahrt. Zu diesem Zwecke überzieht man oft Gegenstände aus Wachs oder Gips oder selbst Pflanzen und kleine Thiere mit einem Kupferbelag. Seltener als das Kupfer wird in der Galvanoplastik das Silber oder das Gold benützt.

Die Galvanoplastik hat folgende Aufgaben zu lösen:

1. Eine metallische Oberfläche ist mit einem Kupferbelag zu versehen, welcher Kupferbelag auf der metallischen Oberfläche haftet.

2. Nach Beendigung des eben besprochenen Verfahrens muss der Belag von der Unterlage trennbar sein.

3. Ein nicht leitender Gegenstand wird mittels Graphitstaub leitend gemacht und mit einem Kupferniederschlag versehen, welcher den Gegenstand vollkommen einschließt.

4. Der Gegenstand ist beim galvanoplastischen Verfahren nicht zu gebrauchen, und muss darum zunächst eine Form hergestellt werden, von welchen man dann auf dem Wege der Galvanoplastik Abzüge nimmt.

5. Nach Beendigung des unter 3. besprochenen Verfahrens, muss der als Form dienende Gegenstand zerstört werden.

102. Das Bad. Ein zweckentsprechendes Bad erhält man durch vollständige Sättigung einer gewissen Menge destillierten Wassers mit reinem, schwefelsaurem Kupferoxyd bei gewöhnlicher Temperatur. Verwendet man statt destillierten Wassers, Brunnenwasser, dann wird die Lösung trübe. Diese Trübung verschwindet aber bei Zusatz von etwas Schwefelsäure vollständig. Die Lösung muss immer gesättigt sein, und muss während des galvanoplastischen Verfahrens fortwährend Salz zugesetzt werden. Zu diesem Zwecke hängt man gewöhnlich mit Kupfervitriol gefüllte Säckchen aus Leinen oder Körbchen aus Weiden oder Guttapercha derart an den Rand der Wanne, dass sie in die obere Flüssigkeitsschichte tauchen. Wichtig ist es, in der Galvanoplastik möglichst reines Kupfervitriol zu verwenden. Die Bäder werden kalt angewendet. Als Gefäße verwendet man meist solche aus Holz, die innen mit Guttapercha oder Blei ausgekleidet sind. Doch kommen oft auch Wannen aus Steingut, Porzellan, Glas oder Fayence vor.

103. Ausführung der Verkupferung. Eine Methode ist die, von der Kupferlösung getrennte Batterien zu verwenden. Der positive und negative Leitungsdraht werden zum Bade geführt. An den positiven Pol gehört ein Kupferblech oder eine Kupferplatte, welche parallel zu dem Gegenstande in das Bad getaucht werden. An dem negativen Pol befestigt man die gehörig vorbereiteten mit einem Überzuge zu versehenden Gegenstände. Ist die Oberfläche des Gegenstandes metallisch, dann schlägt sich das Kupfer an der ganzen Oberfläche zugleich nieder. Wenn hingegen die Oberfläche die Elektricität weniger gut leitet, wie das zum Beispiel bei einem Graphitüberzuge vorkommt, dann beginnt der Niederschlag an den mit dem Leitungsdrahte in Berührung stehenden Stellen, und schreitet von da aus über die ganze Oberfläche fort. Ist der Strom zu schwach, dann findet die Kupferausscheidung langsam statt, ist er zu stark, dann wird der Niederschlag körnig und unzusammenhängend.

In der Industrie findet diese Methode keine Verwendung. Das Verfahren ist vielmehr das folgende. Statt dem Bade von außen einen galvanischen Strom zuzuführen, wird die Einrichtung so getroffen, dass der galvanische Strom in dem galvanoplastischen Apparate selbst erzeugt wird. Das geschieht durch folgende Einrichtung. In das elektrolytische Bad werden poröse Thoncylinder oder aus anderen Materialien bestehende Diaphragmen getaucht, welche eine Lösung von 5 Theilen Schwefelsäure in 95 Theilen Wasser enthalten. In die Thonzellen tauchen Zinkcylinder, welche leitend mit den in das Bad getauchten zu verkupfernden Gegenständen verbunden sind. Das Bad mit diesen Thonzellen wirkt also gleichzeitig als galvanische Batterie. Bei einem Apparate zum Verkupfern runder Gegenstände sind die Thonzellen z. B. längs einer Längsachse angeordnet, deren Zinkcylinder mittels Klemmen mit einem dünnen Metallbande in Verbindung stehen, welches Metallband auf den mit Kupferblech belegten Rändern der Wanne aufruht. In das Bad werden nun die an einem Metallstäbchen hängenden und zu verkupfernden Gegenstände parallel zur Reihe der Thoncylinder eingetaucht. Bei einem anderen Apparate kann die Einrichtung so getroffen sein, dass die Thoncylinder im Kreise angeordnet sind. Auch sind die Zinkcylinder mittels eines Metallbandes leitend verbunden. Der zu verkupfernde Körper hängt im Bade central, an 2 auf dem vorhin erwähnten Metallband ruhenden Messingstäbchen. Während des Verfahrens muß man die Gegenstände mehrmals herumdrehen, damit der Niederschlag auf ihnen gleichförmig werde, nachdem es ja klar ist, dass die unteren Schichten derFlüssigkeit koncentrierter sind als die oberen Schichten. Um zu vermeiden, dass das Zink sich auch dann löst, wenn das Bad

nicht im Gebrauche steht, amalgamiert man die Zinkcylinder, d. h. sie werden nach einem Abbeizen mit Salzsäure in Quecksilber getaucht. Im späteren Verlaufe des Verfahrens wird die elektrolytische Flüssigkeit infolge Freiwerdens von Schwefelsäure allmählich sauer, und man würde unbrauchbare Niederschläge erhalten. Aus diesem Grunde setzt man jetzt dem Bade fein gepulverten, kohlensauren Kalk zu. Es bilden sich nun durch Einwirkung der Schwefelsäure auf das Calciumsalz unlösliche, schwefelsaure Salze, die sich am Boden des Gefäßes sammeln. Man filtriert nun die Flüssigkeit, setzt frisches Kupfervitriol zu, und das Bad ist wieder in Ordnung. Die Gegenstände hängen vertikal und parallel den Diaphragmen im Bad und zwar richtet man das Gefäß so ein, dass die Gegenstände nahe dem Boden hängen, andererseits auch einige Centimeter von der Flüssigkeit überflutet sind.

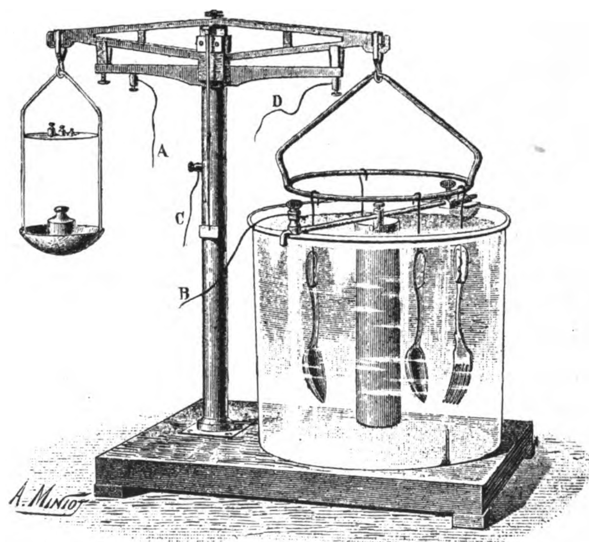


Fig. 75. Galvanoplastisches Bad.

Fig. 75 zeigt eiu ein galvanoplastisches Bad nach Delval & Pascalis.

Sind die Gegenstände specifisch leichter als die Flüssigkeit, dann werden sie mit gefirnisten Bleistücken beschwert. Ist das zu überziehende Metall nicht leitend, dann muss man dessen Oberfläche leitend machen; gewöhnlich geschieht dies durch Überziehen mit Graphit, Bronzepulver oder reduciertem Silber. Um zahlreiche Berührungsstellen zwischen der Stromzuleitung und dem Gegenstande zu schaffen, verfährt man folgendermaßen. Ein Bündel feiner Kupferdrähte

wird mit dem einen Ende mit dem Zuleitungsdrahte verbunden, die freien anderen Enden verbreitet man über der ganzen Oberfläche des Gegenstandes. Wenn der Niederschlag schon eine gewisse Stärke hat, dann wird dieses Bündel wieder entfernt. Sollen gewisse Stellen der Gegenstände, etwa die Rückseiten, keinen Kupferbelag erhalten, dann deckt man dieselben mit geschmolzenem, gelben Wachs oder mit erweichter Guttapercha. Die Haken oder Drähte, welche zur Befestigung der Gegenstände dienen, werden ebenfalls, mit Ausnahme ihrer Berührungspunkte, mit den Gegenständen gedeckt.

Wir wollen nun näher auf die vorhin erwähnten in der Galvanoplastik vorkommenden 5 Aufgaben eingehen.

104. Bleibender Niederschlag auf Metall. Zu diesem Verfahren eignen sich gewisse Metalle wie Eisen, Stahl, Gusseisen und Zink nicht. Diese zersetzen das Kupfervitriol auch ohne Stromdurchgang und bedecken sich mit einem nicht haftenden, schlammigen Kupferniederschlag. Gegenstände aus diesen Metallen muss man, bevor man sie in das galvanoplastische Bad bringt, zuerst mit Hilfe alkalischer Bäder verkupfern. Auch das Zinn wird früher mit Hilfe der Doppelsalze verkupfert. Gegenstände, welche aus Metallen bestehen, die keine chemische Wirkung auf das Kupfervitriol ausüben, decapiert man und bringt sie hierauf ins Bad. Dem Niederschlag gibt man die Stärke eines starken Blattes Papier. Ein zu starker Überzug würde sich beim Polieren abblättern. Nach dem Herausnehmen aus dem Bade werden die Gegenstände durch Scheidewasser und Kienruss und hierauf durch das Säuregemisch zum Brillantieren durchzogen und schließlich poliert.

105. Nicht bleibender Niederschlag auf Metall. Diese galvanoplastische Methode wird besonders zur Herstellung von Medaillen und Basreliefs verwendet. Das Verfahren ist ein ungemein genau und sorgfältig arbeitendes, es gelingt sogar mit Hilfe desselben Daguerreotype vollständig genau nachzubilden. Man verfährt zu diesem Zwecke folgendermaßen. Eine aus Metall bestehende Daguerreotypplatte wird rückwärts mit einem die Elektricität nicht leitenden Firnis überstrichen, an einer Ecke gefasst und horizontal gehalten. Nun übergießt man sie mit verdünnter Cyankaliumlösung, wäscht sie mit frischem Wasser ab und verbindet sie an einem Punkte mit einem Messingdrahte. Jetzt taucht man die Platte in die Kupfervitriollösung, in welcher sie 6—12 Stunden bleibt. Nach dem Herausnehmen aus dem Bade werden die vier Ränder der Platte mittels einer starken Scheere abgeschnitten, der Niederschlag mit einem Federmesser an einer

Stelle gelüftet, worauf man die beiden Metallblätter leicht vollständig voneinander trennen kann. Man erhält auf diese Weise ein vollständig getreues Abbild des auf der Daguerreotypplatte befindlichen Bildes, nur sind die Erhöhungen der Platte auf dem Abzug Vertiefungen und umgekehrt. Gegenstände aus Zink, Eisen oder Zinn müssen bei diesem Verfahren zuerst mit Hilfe der Doppelsalzbäder verkupfert werden. Um Kopien zu erhalten, welche die gleichen Erhöhungen und Vertiefungen zeigen wie das Original, verfährt man so, dass man von der zuerst hergestellten Kopie neue galvanoplastische Reproduktionen herstellt, welche natürlich die gleichen Unebenheiten haben, wie das Original, und die erste galvanoplastische Reproduktion wird beständig als Form weiter verwendet.

106. Galvanoplastischer Niederschlag auf nicht metallischen Körpern. Da Metallniederschläge im allgemeinen nur auf metallischen Körpern haften, müssen Körper, welche die Elektricität nicht leiten, vor dem Einhängen ins Bad an der Oberfläche leitend gemacht werden, man nennt diesen Vorgang auch das Metallisieren der Körper. Zu diesem Zwecke erhält der Körper an allen Stellen, welche einen galvanoplastischen Überzug erhalten sollen, einen dünnen Belag eines leitenden Stoffes. Ein sehr häufig angewandtes Mittel ist das Überziehen mit Graphit. Der im Handel zu erhaltende, verunreinigte Graphit wird zunächst mit Wasser zu einer Paste geknetet. Diese Paste behandelt man 24 Stunden lang mit gewöhnlicher Salzsäure, wäscht sie hierauf mit Wasser tüchtig aus und trocknet sie schließlich in einem Trockenschranke. Die nach dem Trocknen erhaltenen Graphitstücke werden nun fein zerrieben und das Pulver durch ein Sieb passiert. Am besten eignet sich der Graphit bei Gegenständen mit fast ebener Oberfläche. Körper die porös sind, müssen vor dem Metallisieren dicht gemacht werden, damit sie sich im Bade nicht mit Kupfervitriol ansaugen. Solche Körper sind z. B. Gips, Kreide, Marmor und Holz. Man bedeckt sie mit einer dünnen Firnisschicht oder aber man tränkt sie mit Wachs, Talg oder Stearin. Nach dem Herausnehmen des Gegenstandes aus der geschmolzenen Masse eines der eben bezeichneten Körper, wird der Gegenstand vollständig mit Graphitpulver bestreut und erkalten gelassen. Die zu metallisierenden Stellen haucht man nun an und reibt sie kräftig mit einer vorher in Graphitpulver getauchten Bürste oder einem Pinsel. Diese Procedur muss sehr sorgfältig vorgenommen werden und der Körper muss nach dem Abreiben an allen metallisierten Stellen vollkommen schwarz erscheinen. Das Graphitieren kann auch maschinell geschehen. Hier wirken Bürsten vollständig automatisch auf

die Matrizen ein. Um eine größere Leitfähigkeit der Oberfläche zu erzielen, wird statt des Graphits feines Metallpulver verwendet. Man benützt Bronzepulver, Muschelgold, Antimon, Wismut, durch Kupfer oder Wasserstoff reduciertes Silber oder auch ein Gemisch aus Bronzepulver und Graphit. Im allgemeinen liefert aber die Anwendung dieser Metallpulver schlechtere Resultate als die Anwendung des reinen Graphitpulvers, einerseits deshalb, weil sie an der Oberfläche der Körper schlecht haften, andererseits, weil sie vom Kupfervitriol gelöst werden. Das Metallisieren geschieht in diesen Fällen auf nassem Wege. Die Metalle werden aus ihren Lösungen reduciert und unmittelbar auf den Gegenständen niedergeschlagen. Will man z. B. einen Silberniederschlag erzeugen, dann verfährt man auf folgende Weise. Die Gegenstände werden mittels eines Pinsels mit einer Lösung von Chlorgold oder von salpetersaurem Silberoxyd bestrichen und hierauf trocknen gelassen. Dieses Verfahren wiederholt man einige Male. Sodann setzt man den Gegenstand der Wirkung des Sonnenlichtes oder der des Wasserstoffgases aus. Der Körper wird nun, infolge des ausgeschiedenen Silbers, völlig schwarz.

107. Galvanoplastische Niederschläge auf Formen. Dieses galvanoplastische Verfahren bietet mannigfache Vortheile. Für's erste wird der Originalgegenstand nicht verletzt und geht nicht verloren, wie in dem Falle, wo er ganz von dem Niederschlag bedeckt wird. Will man von einem Gegenstande Kopien erzeugen, dann ist es schon aus dem Grunde vortheilhaft, zunächst eine Form zu erzeugen, und diese erst dem galvanoplastischen Verfahren zu unterwerfen, weil ja die direkt vom Gegenstande hergestellte galvanoplastische Reproduktion die Erhöhungen des Gegenstandes als Vertiefungen zeigt und umgekehrt. Als Material zur Herstellung der Formen wird Gips, Stearin, Wachs, Leim, Guttapercha und das sogenannte Darcet'sche Metall verwendet. Der Gips ist besonders geeignet zum Abformen von Gegenständen aus Gips, Stuck, Marmor, Alabaster, Holz und Metall. Denken wir uns, wir hätten von einer Medaille eine Gipsform zu machen, um diese nachher dazu zu verwenden, um Nachbildungen der Medaille in Kupfer herzustellen. Man geht bei der Herstellung der Form so vor: Die Medaille wird zunächst graphitiert. Hierauf umgibt man sie am Rande mit einem Streifen starken Papiers oder mit einem Blättchen gewalzten Bleis so, dass ein kleines Schächtelchen gebildet ist. Nun macht man einen Gipsbrei an, welcher zunächst mit einem Pinsel auf die Medaille aufgetragen wird, worauf das ganze künstliche Gefäß mit Gips ausgegossen wird. Nach dem Erkalten wird die Gipsform, welche am Original nicht haften darf, abgehoben, hierauf dicht gemacht, nachdem ja der Gips porös ist, und

sodann ins Bad gehängt. Formen aus Stearin oder Wachs stellt man ähnlich her, nur müssen diese Körper erst geschmolzen und hierauf, nahe dem Erstarren, auf den Gegenstand gegossen werden. Formen aus Leim und Guttapercha haben den großen Vortheil, dass sie, infolge der Elasticität des Materials, gestatten, auch solche Gegenstände abzuformen, welche solche Vertiefungen und Einbuchtungen besitzen, dass es nicht möglich wäre, eine Form aus unelastischem Material vom Original ohne Schaden zu trennen. Nachdem Formen aus reinem Leim in der Kupfervitriollösung sich aufblähen und lösen, wenn das Verfahren nicht sehr rasch beendet wird, verwendet man gewöhnlich einen, auf folgende Art dicht gemachten Leim. In einem Liter heißen Wassers werden 200 *g* Leim gelöst. Hierauf fügt man 4 *g* Tannin und 4 *g* Kandiszucker bei. Die Lösung wird innig gemischt und auf die Form gegossen. Nach einigen Stunden wird dieses so gebildete Modell von der Form abgenommen, metallisiert und ins Bad gebracht, wo es zunächst einem starken Strome, und, wenn die Oberfläche schon ganz verkupfert ist, einem schwächeren Strome ausgesetzt wird. Die Guttapercha ist weniger elastisch als der Leim. Die käufliche Guttapercha weicht man zunächst in heißem Wasser auf und befreit sie von allen in ihr enthaltenden Verunreinigungen. Hierauf wird sie in beliebige Formen geknetet. Von diesen Massen schneidet man die zur Verwendung nöthigen Stücke ab, bringt sie in sich nach und nach erwärmerndes kaltes Wasser, so dass die Stücke knetbar erscheinen. Mit diesen Stücken werden hierauf die Modelle überzogen. Nach dem Erkalten ist die Guttapercha wieder so hart wie früher. Die Guttapercha nimmt man jedoch von dem Modelle schon ab, wenn sie noch nicht ganz erkaltet ist. Damit sie vollständig erkaltet, wird sie mit kaltem Wasser übergossen. Zum Zwecke des Aufpressens der Guttapercha auf das Modell verwendet man oft kleine Pressen. Das graphitierte, abzuformende Objekt kommt auf die Platte der Presse. Hierauf umgibt man es mit einem, die höchsten Punkte desselben überragenden eisernen Reif und legt die erweichte Guttapercha in Form einer Kugel auf den Gegenstand. Auf die Kugel legt man nun eine Gusseisenplatte, welche in den Reif vollkommen hineinpasst und zieht die Presse an. Oft wird die Guttapercha ohne Mithilfe von Wasser in einer, auf einem Ofen angebrachten, ausgehöhlten Metallplatte erweicht. Dadurch verkohlt aber ein Theil der Guttapercha. Die Guttapercha kann beinahe unbegrenzt oft verwendet werden; sie wird nur zum Abformen harter Körper wie Metalle, Holz etc. gebraucht. Das Darcet'sche Metall findet seltener Verwendung. Die Abdrücke zeigen zumeist Luftblasen oder ein krystallinisches Aussehen. Eine Vorschrift zur Herstellung des Darcet'schen Metalles lautet:

Reines Blei	2	Theile,
Zinn	3	„ ,
Wismut	5	„ .

Die Herstellung der Formen erfolgt entweder so, dass die abzuformenden Gegenstände in eine geschmolzene Menge des Metalles eingetaucht, oder so, dass die Gegenstände mit dem geschmolzenen Metall übergossen werden. Die Abgüsse versilbert oder vergoldet man gewöhnlich auf galvanoplastischem Wege.

108. Galvanoplastisches Abformen mit Zerstörung der Form. Diese Methode wird in der Praxis sehr häufig angewendet. Besprechen wir als Beispiel die Nachbildung eines runden, massiven Körpers, etwa einer Statue, nach dieser Methode. Der Gegenstand sei aus Gips gefertigt. Derselbe wird zunächst so vorbereitet und metallisiert, wie wir es schon besprochen haben. Der Gipsgegenstand kommt nun in ein Kupferbad, in welchem er mit einem ziemlich dicken, selbst haltenden Überzug versehen wird. Nach dem Herausnehmen aus dem Bade ist der Überzug an einer minder wichtigen Stelle zu öffnen und die Gipsmasse vollständig aus seinem Innern zu entfernen. Die zurückbleibende hohle Form aus Kupfer wird nun in ihrem Innern eingefettet und graphitiert und in einem Kupferbade innen mit einem dicken Kupferüberzuge versehen. Nun nimmt man die als Form dienende Hülle weg, und die Reproduktion des Gegenstandes ist bis auf wenige Nacharbeiten vollendet. Bei diesem Verfahren geht die als Modell dienende Kupferhülle vollständig verloren. Man wendet darum in der Praxis sehr häufig auch Formen an, die aus mehreren Stücken bestehen. Die Kontouren der Trennungslinien der einzelnen Stücke sind auf der Reproduktion sichtbar und müssen mittels Nacharbeit entfernt werden. Um Material zu sparen, wird oft der Niederschlag sehr dünn gemacht, der Gegenstand aus dem Bade genommen, die Rückseite verzinnt, mit Zinn oder einem anderen Metalle ausgegossen und wieder ins Bad zurückgebracht. Solche Gegenstände haben natürlich zum Schlusse nur geringe Festigkeit, werden aber häufig auf den Markt gebracht, wo sie, ihrer Billigkeit wegen, großen Absatz finden. Allerdings haben diese Produkte der Galvanoplastik sehr in ihrem Rufe geschadet.

Wir wollen noch einige Worte darüber anfügen, in welcher Weise die Formen vom galvanoplastischen Überzug getrennt werden. Am leichtesten gelingt die Trennung des Niederschlages von einer metallischen Oberfläche. Man braucht nur ein Plättchen aus Horn oder Elfenbein zwischen die beiden Flächen zu schieben und die Trennung geht leicht und anstandslos vor sich. Formen aus Gips, Porzellan und Holz werden

auf die gleiche Weise vom Niederschlag getrennt. Nur gelingt es selten, eine Gipsform zu erhalten, sie zerfällt gewöhnlich in Stücke. Die Formen aus Wachs, Stearin, Leim, Guttapercha und aus leicht schmelzbarem Metall bringt man sammt dem Überzuge in heißes Wasser, worauf die Trennung leicht erfolgt. Die von der Form getrennten Objekte müssen gereinigt werden. Das geschieht zunächst durch ein Ausglühen, wodurch die Verunreinigungen verbrennen. Um die oxydierende Wirkung der Luft auszuschließen, kann man die Gegenstände auch in ein heißes Bad von Leinöl oder Fett bringen. Nach dem Ausglühen kommen die Gegenstände noch in eine Beize. Die Reinigung der Gegenstände von großer Zartheit und Reinheit geschieht lediglich dadurch, dass sie mit einer, in Alkohol, Terpentinöl oder Benzin getauchten, ziemlich harten Haarbürste gerieben werden.

109. Anwendung der Galvanoplastik in der Buchdruckerkunst. Herstellung von Matrizen und Clichés oder Galvanotypen. Zunächst wird von dem zu vervielfältigenden Gegenstande, z. B. einem aus Druckertypen bestehenden Satz, eine umgekehrte Form, eine sogenannte Matrize, gemacht. Zum Abformen von Gegenständen aus Holz oder Gips verwendet man Wachs und Stearin, zum Abformen von Metallgegenständen die festere Guttapercha. Die Abformung mittels Wachs erfolgt in nachstehender Weise: Der Gegenstand wird handwarm gemacht. Hierauf wird er mit Leinöl bestrichen und am Rande mit einem steifen Papier umgeben. Nun gießt man das geschmolzene, mit etwas Talg vermengte, gelbe Bienenwachs auf den Gegenstand. Nach dem Erkalten und Erstarren wird die Wachsform von dem Gegenstande getrennt, metallisiert und ins Kupferbad gehängt. Die Wachsmatrize ist auch unter der im Vorigen beschriebenen Presse herstellbar, nur wird in diesem Falle das Wachs als erstarrte Masse auf den Gegenstand gebracht. Ganz ähnlich verfährt man bei der Herstellung einer Matrize aus Guttapercha. Die Guttapercha wird zunächst in heißem Wasser erweicht und hierauf zu einer Platte geknetet. Diese Platte graphitiert man und bringt sie auf den mit einem eisernen Reifen umgebenen Gegenstand. Beide kommen nun unter die Presse. Die fertiggestellte Form kommt ins Kupferbad. Der Kupferniederschlag wird nun von der Form getrennt, rückwärts verzinnt und mit folgender Metallegierung hintergossen:

500 *g* Zinn,
235 *g* Wismut,
400 *g* Blei.

Das Zinn und das Wismut schmilzt man zuerst ein. So lange die Legierung noch flüssig ist, kommt das Cliché unter die Presse, welche nun vorsichtig zugeschraubt wird. Mit Hilfe des Clichés sind nun Abdrücke herstellbar.

110. Galvanoplastik in Gold und Silber. Die Galvanoplastik in Gold und Silber ist viel umständlicher und schwieriger als die in Kupfer. Zur Galvanoplastik in Gold und Silber verwendet man Doppelsalze, und zwar die Doppelcyanüre von Kalium und Gold und Kalium und Silber. Die Gold- und Silberbäder haben alkalische Reaktion, darum kann eine ganze Reihe von Stoffen nicht zur Herstellung von Formen benützt werden. Ausgeschlossen sind ganz besonders die fetten Körper, diese verseifen sich nämlich im Bade. Man geht bei der Galvanoplastik in Gold oder Silber gewöhnlich so vor: Der Gegenstand wird zunächst auf galvanoplastischem Wege mit einem dünnen Kupferhäutchen überzogen und kommt hierauf erst ins Gold- oder Silberbad. Nach dem Herausnehmen aus diesem Bade wird der Überzug vom Gegenstande getrennt und in Ammoniak oder verdünnte Schwefelsäure gelegt. In diesen Flüssigkeiten löst sich das Kupfer, und das Silber bleibt allein erhalten. Ist der Gegenstand so beschaffen, dass er vorwiegend eben ist, dann bedient man sich beim Abformen des Zinns, Bleis oder des Darcet'schen Metalles. Das Goldbad wird nach folgenden Angaben hergestellt:

Destilliertes Wasser	1 *l*,
Cyankalium	150 *g*,
Neutrales Goldchlorid . . .	50 *g*.

Ein für die Galvanoplastik in Silber geeignetes Bad hat folgende Zusammensetzung:

Destilliertes Wasser	1 *l*,
Cyankalium	100 *g*,
Geschmolzenes salpetersaures Silber .	25 *g*.

Die Anode besteht bei diesen Bädern aus dem im Bade gelösten Metalle. Man verwendet getrennte Batterien oder auch ins Bad gestellte Diaphragmen, nur muss man in das Diaphragma Cyankaliumlösung oder Kochsalzlösung schütten. Die fertiggestellten Reproduktionen werden zum Schlusse geglüht und gekratzt. Ein Bad für diese Zwecke zeigt Fig. 60.

111. Galvanische Gravierung. Wir haben in den vorangehenden Kapiteln die Bäder mit löslichen Anoden besprochen. Es ist klar, dass sich die Anode dort, wo wir sie etwa mit einer isolierenden Schichte bedecken würden, nicht lösen könnte. Diese Thatsache wird bei der galvanischen Gravierung verwertet. Hätten wir z. B. in einer Kupfer-

platte eine Gravierung herzustellen, dann verfahren wir auf folgende Art: Die Platte wird mit einem isolierenden Firnis überzogen und die einzugravierende Zeichnung mit einem Grabstichel in die Firnisschichte gezeichnet, so dass die Kupferplatte an den Stellen, wo die Zeichnung erscheinen soll, blank gelegt wird. Die Platte kommt nun in ein Kupfervitriolbad. Als Kathode besitzt dieses eine Kupferplatte. Es ist klar, dass in diesem Falle die Zeichnung vertieft erscheint. Will man eine Zeichnung im Relief erzeugen, dann wird diese mit einem Fettstift auf der Platte entworfen, alle übrigen Stellen der Platte bleiben blank. Früher nahm man für verschiedene zu gravierende Metalle verschiedene Bäder. Zur Gravierung von Kupferplatten nahm man Kupfervitriolbäder, zur Gravierung von Zinkplatten Lösungen von schwefelsaurem Zinkoxyd, und bei Gold- und Silberplatten Lösungen, welche diese Metalle enthielten. Heute nimmt man jedoch zur Gravierung von Zink- und Kupferplatten lediglich Wasser, das mit Salzsäure, Salpetersäure oder Schwefelsäure schwach angesäuert ist.

112. Bronzierung. Eine sehr häufig vorgenommene Nacharbeit, ist die, den Metallgegenständen künstlich jenes Aussehen zu verschaffen, das sie unter dem Einflusse der Atmosphäre und der Zeit auf natürlichem Wege erhalten würden. Die wichtigsten Bronzierungen sind die künstliche Herstellung der antiken Patina und der antiken Bronze.

Antike Patina. Diese wird gewöhnlich zur Verschönerung von Messing- oder Bronzestücken verwendet. Zu diesem Zwecke taucht man die Gegenstände in eine Lösung von salpetersaurem Eisenoxyd.

Antike Bronze. Man stellt sich zunächst eine Lösung folgender Zusammensetzung her:

Gewöhnlicher Essig . .	200 *g* und etwas Wasser,
Salmiak	30 *g*,
Kochsalz	10 *g*,
Weinsteinrahm	10 *g*,
Essigsaures Kupfer . .	10 *g*.

Der zu bronzierende Kupfer-, Messing- oder Bronzegegenstand wird mit dieser Lösung bestrichen. Nun wird der Gegenstand an die freie Luft gebracht und bleibt 24 Stunden lang behufs Trocknung an derselben. Nach dem Trocknen ist der Gegenstand spangrün und weist verschiedene Schattierungen auf. Nun wird der Gegenstand mit einer in Wachs getauchten Bürste gestrichen und oft die erhöhten Stellen des Gegenstandes mit Blutstein, Chromgelb oder einer anderen Farbe hervorgehoben. So wird z. B. zum Hervorbringen einer blauen Farbe Ammoniak verwendet, zum Hervorbringen starker Schatten eine Lösung von kohlensaurem Ammoniak.

V. Kapitel.

Elektrometallurgie.

113. Zweck. Die Elektrometallurgie dient folgenden Zwecken. Mit ihrer Hilfe ist man im Stande, Metalle rein herzustellen, sei es aus verunreinigten Rohmetallen durch Raffinierung, oder aus in der Natur vorkommenden Metallverbindungen. Weiters kann man mit Hilfe elektrometallurgischer Verfahren aus den Produkten vorausgegangener chemischer Hüttenverfahren Metalle rein darstellen, und endlich gelingt es auch mit Benützung der Elektrometallurgie aus Abfallstoffen der Hüttenverfahren Metalle zu gewinnen. Die Raffinierung ist ganz ähnlich den von uns besprochenen Verfahren in der Galvanoplastik mit löslichen Anoden. Mit Hilfe dieses Vorganges gelingt es, Metalle in vollendeter Reinheit darzustellen, wie sie ja sehr häufig in der Chemie und in der Technik gebraucht werden. Die lösliche Anode besteht aus dem gleichen Metalle wie das, welches darzustellen ist. Das Raffinieren wird besonders zur Darstellung von Kupfer verwendet. Es gibt zahlreiche Metalle, welche vor Anwendung der Elektrometallurgie entweder zu schwierig aus ihren Verbindungen darstellbar waren, oder zumindest sich nach ihrer Darstellung viel zu theuer stellten, als dass sie eine wesentliche praktische Verwendung hätten finden können. Als Beispiel hiefür wollen wir nur das Aluminium und die Aluminiumlegierungen anführen. Vor nicht gar langer Zeit waren diese Körper noch Luxusgegenstände, heute nimmt das Aluminium und seine Legierungen einen hervorragenden Platz in der Technik ein. In der Metallurgie ist die Forderung nach Billigkeit der Darstellung eine ungemein wichtige, denn die Preise der Rohmaterialien sind zumeist verschwindend klein gegenüber den Kosten des Hüttenverfahrens. Nicht immer ist man in der Lage in der Elektrometallurgie die elektrolytische Metallgewinnung auf nassem Wege anzuwenden. Das geht z. B. dann nicht, wenn sich bei diesem Vorgange sekundäre Erscheinungen zu stark geltend machen würden, oder wo der in Verwendung kommende Körper im gewöhnlichen Zustande ein Nichtleiter ist. In diesem Falle wird der Elektrolyt geschmolzen und hierauf erst der Elektrolyse unterworfen. Schließlich kann auch die von einem elektrischen Strom erzeugte Wärme zum Schmelzen der zu verarbeitenden Materialien verwendet werden.

114. Elektrolytische Metallgewinnung auf nassem Wege. Für diese Art von elektrolytischen Verfahren waren die Untersuchungen Kilianis von hervorragendem Werte. Letzterer untersuchte nämlich eine ganze Reihe von in der Metallurgie oft verwendeten Erzen

in Bezug auf ihr elektrisches Leitungsvermögen. Die Resultate dieser Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle gegeben:

Darzustellendes Metall	Gut leitende Erze	Schlecht leitende Erze
Antimon		Grauspießglanz
Zinn	Zinnstein	Zinnkies Zinnwitter
Silber	Silberglanz Dunkles Rothgiltigerz Lichtes Rothgiltigerz	
Blei	Bleiglanz	Weiß-Bleierz Grün- " Gelb- " Roth- " Vitriol- " Bournonit
Kupfer	Kupferglanz Buntkupfererz Kupferkies	Rothkupfererz Kupferlasur Malachit Fahlerze Kieselkupfer
Zink		Zinkblende Edles Galmei Kieselzinkerz
Kobalt	Speiskobalt Kobaltglanz Kobaltkies	
Nickel	Rothnickelerz Weißnickelerz Nickelglanz	
Eisen	Schwefelkies Magnetkies Magneteisenstein	Speerkies Eisenglanz Spateisenstein Brauneisenstein Bohnerz Kohleneisenstein Titaneisenstein

Alle Erze, welche gut leitend sind, können als Anoden benützt werden. Bei der Verwendung von schlecht leitenden Erzen, muss die Anode aus einem nicht oxydierbaren Körper hergestellt werden, z. B. aus Platin, Koks, Braunstein. Leicht lösliche Erze werden mit Koksstücken vermengt in Säcken, durchlöcherten Kisten oder porösen Thonzellen als Anode in das Bad gebracht. Alle Erze, welche schwer löslich sind, werden durch Rösten löslicher gemacht. Als Kathode wird auch das niederzuschlagende Metall gewählt. Die elektrolytische Flüssigkeit ist gewöhnlich eine Lösung eines Metallsalzes des niederzuschlagenden Metalles. Oft wird auch eine Kochsalzlösung verwendet.

Eine besonders interessante und wichtige Anwendung der Elektrolyse ist die zum Zwecke der Scheidung einer wässerigen Lösung verschiedener Metalle oder fester Metallegierungen in ihre Bestandtheile. Die aus einer wässerigen Lösung sich abscheidenden Metalle werden an der Kathode abgelagert. Zuerst fällt das am stärksten elektronegative Metall aus der Lösung. Um nacheinander die verschiedenen Metalle niedergeschlagen zu erhalten, geht man so vor, dass man verschiedene elektromotorische Kräfte bei der Elektrolyse anwendet. Diese elektromotorischen Kräfte werden aus den bekannten Wärmetönungen für jedes niederzuschlagende Metall gerechnet. Man wählt die elektromotorische Kraft immer etwas größer als es die Rechnung ergibt, weil der Widerstand des Bades ebenfalls zu berücksichtigen ist. Denken wir uns, wir hätten eine Silber-Kupferlegierung in Salpetersäure gelöst und sollen nun aus dieser Lösung das Silber und das Kupfer jedes für sich gewinnen. Zu diesem Zwecke elektrolysiert man die Lösung zunächst mit einer elektromotorischen Kraft, welche 1·2 V nicht überschreitet. Bei Anwendung dieser elektromotorischen Kraft fällt nur das Silber aus der Lösung. Wenn alles Silber gefällt ist, geht kein Strom mehr durch die elektrolytische Zelle. Man befreit nun das Bad vom Silber und wendet hierauf eine elektrolysierende, elektromotorische Kraft an, die größer ist als 1·2 Volt. Bei dieser Elektrolyse fällt das Kupfer aus der Lösung.

Bei der Abscheidung der Metalle aus festen Legierungen gibt man die Legierung als Anode in das Bad. Zuerst geht das elektropositive Metall in Lösung über, bei silberhaltigem Kupfer z. B. zuerst das Kupfer. Das elektronegative Metall kann nur dann nach Abscheidung des positiven gefällt werden, wenn es dann noch eine fest haltende, leitende Masse ist, sonst fällt es als schlammartige Masse zu Boden.

115. Gewinnung des Kupfers. Es wurde oft versucht, Kupfer unmittelbar aus den Erzen auf elektrolytischem Wege zu gewinnen. Bis heute ist es jedoch noch nicht gelungen, ein befriedigendes Verfahren zu ersinnen. Dafür wird jedoch in der Kupferproduktion das elektrolytische Reinigungs- oder Raffinierverfahren allgemein angewendet. Im Jahre 1896 betrug die Weltproduktion an Kupfer 370.000 *t*. Fast die ganze Produktionsmenge reinigt man elektrolytisch. Die Kupfererze werden zunächst dem gewöhnlichen hüttenmännischen Verfahren unterworfen. Die verwendeten Erze sind oxydische Erze, wie Rothkupfererz, Kupferlasur, Malachit oder sulfidische Erze, wie Kupferglanz, Kupferkies, Buntkupfererz und Kupfervitriol. Die oxydischen Erze werden einem reducierenden Schmelzen mit Kohle unterzogen. Bei diesem

Schmelzprocesse werden noch gewisse Zusätze beigegeben, damit die erdigen Bestandtheile leichter schmelzen und sich als Schlacke abscheiden. Die sulfidischen Erze werden mehreremale geröstet und geschmolzen. Man erhält am Schlusse dieser Vorgänge ein Schmelzprodukt, das 40—50% Kupfer enthält und Kupferstein heißt. Schließlich schmilzt man den Kupferstein mit Kohle und erhält auf diese Weise das Schwarzkupfer, welches 94% Kupfer enthält. Jetzt müssen noch die im Produkte enthaltenen Fremdmetalle entfernt werden. Das geschieht durch ein oxydierendes Schmelzen des Schwarzkupfers und nachherigem Reduzieren mit Holzkohle. Auf diese Weise erhält man das Rohkupfer, welches 98—99% Kupfer enthält. Dieses Rohkupfer wird nun der Elektrolyse unterworfen.

Es dürfte von Interesse sein, die chemische Zusammensetzung eines dem elektrolytischen Verfahren zuzuführenden Rohkupfers nach Haber kennen zu lernen.

Kupfer	98·87 %,
Silber	0·11 „ ,
Gold	∾ 0·001 „ ,
Blei	0·076 „ ,
Wismut	∾ 0·1 „ ;
Arsen	∾ 0·4 „ ,
Antimon	∾ 0·35 „ ,
Eisen	∾ 0·05 „ ,
Nickel	∾ 0·02 „ ,
Unlösliche Bestandtheile . . .	∾ 0·04 „ .

Zum Zwecke der Elektrolyse wird das Rohkupfer in rechteckige, dünne Platten gegossen, welche man als Anoden in ein saures Kupfervitriolbad bringt. Die Herstellung des Bades erfolgt derart, dass auf 1 Liter Wasser 150—200 *g* Kupfervitriol und 50 *g* Schwefelsäure kommen Die Stromdichte beträgt 0·7 bis 1·1 *A* für ein dm^2 Anoden- oder Kathodenfläche. Als Kathode dienen Reinkupferbleche. Die elektrolytische Flüssigkeit muss beständig in Bewegung erhalten werden. Das geschieht dadurch, dass man die Zellen treppenförmig anordnet und die Flüssigkeit die Zellen nach einander durchfließen lässt, oder es wird, wie bei den Verfahren von Borchers und Siemens & Halske A.-G., Luft in die Badeflüssigkeit eingetrieben. Es findet eine Zerlegung der Kupfersulfatlösung statt. Das Kupfer der Lösung scheidet sich an der Kathode ab, während gleichzeitig gleich viel Kupfer von der Anode in Lösung übergeht. Die ausgeschiedenen Kupfermengen sind kleiner als es dem Faraday'schen Gesetze entsprechen würde. Das rührt daher,

weil dem Hauptvorgange parallel im Bade noch eine ganze Reihe sekundärer Vorgänge vor sich gehen, welche Energie verbrauchen.

Man spricht darum auch von einem elektrolytischen Wirkungsgrade oder einer Stromausbeute, und versteht darunter das Verhältnis der thatsächlich ausgeschiedenen zur gerechneten Gewichtsmenge. Beim Kupfer beträgt die Stromausbeute ungefähr 95%.

Die in der Anode enthaltenen fremden Bestandtheile bleiben entweder in derselben zurück, oder gehen in die Lösung über oder bilden den sogenannten Anodenschlamm. Besonders das in der Anode enthaltene Silber und Gold bleiben an ihr zurück und werden als Nebenprodukt gewonnen. Dieser Umstand ist von großer Bedeutung, denn er bewirkt, dass die Kupferraffinerie so lohnend ist, obwohl sich der Preis des Rohkupfers von dem des Elektrolytkupfers nur wenig unterscheidet. Die elektrolytsche Flüssigkeit wird jeden Monat erneuert. Der Anodenschlamm wird hüttenmännisch auf goldhaltiges Silber verarbeitet und dann chemisch oder elektrolytisch gereinigt. Wir wollen nun die Zusammensetzung des Elektrolytkupfers angeben, das aus dem vorhin der Zusammensetzung nach gegebenem Rohkupfer erhalten wurde

Kupfer	99·994%,
Silber	0·004 „ ,
Antimon	∾ 0·001 „ ,
Sauerstoff	0·002 „ .

116. Schaltung der Bäder. Man unterscheidet 2 Arten der Schaltung der Bäder und der Elektroden. Bei dem ersten Systeme werden, wie es die Figur 76 zeigt, die Bäder hintereinander und die

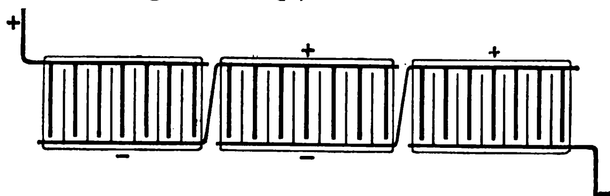


Fig. 76. Bäder in Hintereinanderschaltung.

gleichen Elektroden eines Bades nebeneinander geschaltet. In amerikanischen Betrieben sind die Gefäße Holzbottiche, welche innen mit Bleiblechen belegt sind. In dem Bade hängen abwechselnd je eine Anode und eine Kathode, je 5 *cm* von einander entfernt, im Ganzen 33 Platten. Die Kathoden sind 1 *mm* starke Reinkupferbleche, welche mit ihrem umgebogenen Rand über Kupferstangen gelegt werden, die quer über dem Gefäße liegen. An den Längskanten des Gefäßes befinden sich Kupferschienen, welche als Stromzuführung dienen. Die Anodenplatten,

welche 2 *cm* dick sind und die gleiche Form wie Akkumulatorenplatten haben, stützen sich mit 2 Ansätzen auf die stromführenden Schienen.

Als Klemmenspannung für ein Bad wählt man etwa 0·5 Volt. Wählt man die Stromdichte zu groß, dann wird an der Kathode auch Silber ausgeschieden. Die Fig. 77 zeigt das zweite System. Bei diesem sind sowohl die Bäder als auch die Platten hintereinander geschaltet.

Man kann die Einrichtung auch so treffen, wie es die Figur 78 zeigt. Bei dieser Anordnung bestehen die ins Bad getauchten Platten, mit Ausnahme der beiden äußersten Platten, je aus einer Anoden- und einer Kathodenplatte. Es ist klar, dass dieses System mit dem in Figur 77 dargestellten identisch ist, doch lässt es sich nur dort anwenden, wo unpolarisierbare Zusammenstellungen vorhanden sind, wie

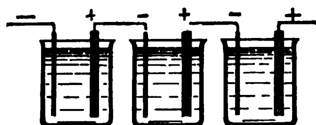


Fig. 77.
Hintereinanderschaltung der Elektroden.

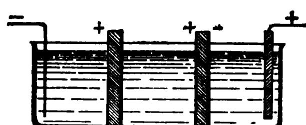


Fig. 78.
Hintereinanderschaltung der Elektroden.

z. B. Kupfer in Kupfersulfat oder Zink in Zinksulfat. Ursprünglich stellte man solche Doppelplatten durch Zusammenschrauben her. Später ließ man die blechförmige Kathode ganz weg, so dass bloß die Rohkupferplatten ins Bad getaucht waren. Auf der einen Seite wirkten diese als Anode auf der anderen als Kathode. Damit sich auf der Anodenseite das Kupfer leicht löst, wird diese Seite sorgfältig geebnet und hierauf mit einer ungemein dünnen Fettschichte überzogen. Obwohl dieses System manche Vortheile bietet, wie speciell geringe Wartung und geringe Leitungskosten, ist dieses System doch weniger in Anwendung als das erste, wegen der größeren Kosten, die es verursacht.

Von den Verfahren zur unmittelbaren Gewinnung des Kupfers aus den Erzen, wollen wir das von Siemens & Halske A.-G. angegebene erwähnen. Es dient dazu, kupferarme Erze mit einem Kupfergehalt von 4—35% zu verarbeiten. Die Erze werden zuerst geröstet und hierauf mit einer, auf 90° erwärmten, aus Eisenoxydulsulfat mit einem geringen Schwefelsäurezusatz bestehenden Lauge ausgelaugt. Diese Lauge wird nun der Elektrolyse unterzogen. Die Anode besteht aus Kohle, die verwendete Badespannung beträgt 0·7 Volt.

117. Gewinnung des Zinks. Elektrolytische Niederschläge von Zink fallen gewöhnlich schwammig oder pulverig aus. Verwendet man als elektrolytische Flüssigkeit eine Zinksulfatlösung, welcher Oxydations-

mittel, wie etwa überschwefelsaures Ammon, zugesetzt sind, dann erhält man den Niederschlag in Blechform, wenn eine Stromdichte von 1 Ampère für 1 dm^2 angewendet wird. Sowohl die Zinkelektrolyse, als auch die Zinkraffination werden in der Praxis sehr häufig angewendet.

Siemens & Halske A.-G. haben ein Verfahren angegeben, um zinkarme Erze und zinkhaltige Nebenprodukte der Hüttenverfahren zur Zinkgewinnung zu verwenden. Das Rohprodukt wird zunächst fein gemahlen und hierauf mit einer verdünnten Aluminiumsulfatlösung unter Erwärmen und Umrühren ausgelaugt. Diese Lauge, welche nun das Zink als Sulfat enthält, wird, nachdem sie von den fremden Metallen befreit ist, der Elektrolyse zugeführt. Die Spannung für ein Bad beträgt rund 3·5 Volt, die Stromdichte 0·3 Ampère für 1 dm^2. Die Kathode besteht aus Eisen, die Anode aus Hartblei. Während des elektrolytischen Verfahrens wird die Flüssigkeit beständig in Bewegung erhalten. Es gibt noch eine ganze Reihe elektrolytischer Verfahren zur Zinkgewinnung, von denen sehr viele geheim gehalten werden.

118. Gewinnung des Nickels. Bei diesem Metall findet die Elektrolyse nur zur Raffination Verwendung. Man erzeugt zunächst auf hüttenmännischem Wege Rohnickel, das 95—96% Nickel enthält, und dieses Nickel wird sodann dem Raffinierverfahren zugeführt. Dabei scheidet sich das Nickel in Form loser Blättchen ab.

119. Gewinnung von Gold, Silber und Platin. Die angewendeten Verfahren bezwecken gewöhnlich eine Scheidung von Edelmetallverbindungen, hauptsächlich solcher, die kupferhaltig sind, in ihre metallischen Elemente. Zu diesem Zwecke wird die wässerige Lösung einer Elektrolyse bei verschiedenen elektromotorischen Kräften unterworfen. Bei diesem Verfahren fallen dann die, den einzelnen elektromotorischen Kräften entsprechenden Metalle aus der Lösung heraus und scheiden sich an der Kathode ab. Dietzel verwendet kupferreiche Legierungen von Gold und Silber. Aus dem Rohmaterial, dasselbe besteht aus Abfällen der Schmucksachen- und Bijouteriefabrikation, werden Anodenplatten gegossen, die zunächst in ein koncentriertes Kupfernitratbad kommen. In diesem Bade werden sie einer Elektrolyse, behufs Gewinnung des Kupfers, unterzogen. Das Silber geht fast vollständig in die Lösung über, ebenso die meisten minderwertigen Metalle, während Gold und Platin in metallischem Zustande an der Anode zurückbleiben. Die Flüssigkeit fließt beständig aus dem Bade in terassenförmig aufgestellte Kessel, die Kupfer enthalten. Dort scheidet sich Silber ab, während Kupfer in Lösung übergeht. Dadurch gewinnt

man einerseits das Silber, andererseits erhält die Flüssigkeit den für eine neue Elektrolyse nöthigen Kupfergehalt. Die nothwendige Klemmspannung beträgt im Mittel 2·5—3 Volt, gegen Ende des Verfahrens rund 5 Volt. Die Stromdichte beträgt ∾ 1 Ampère für 1 dm^2 der Anodenfläche.

Sehr häufig wird die Silberraffination ausgeführt, beziehungsweise die Scheidung des Silbers von anderen Edelmetallen.

In dieser Hinsicht wären die Einrichtungen der deutschen Gold- und Silberscheideanstalt in Frankfurt zu erwähnen. Das Anodenmetall besteht aus 95% Silber und aus Gold, Platin und Kupfer. Die elektrolytische Flüssigkeit ist eine salpetersaure Lösung von Silbernitrat. Die Stromdichte beträgt zu Beginn des Verfahrens 3 Ampère für 1 dm^2. In dem Maße als der Kupfergehalt steigt, wendet man eine geringere Stromdichte an, bis 2 Ampère für 1 dm^2. In den bei der Elektrolyse verwendeten Holzbottichen befinden sich vier Kathoden- und drei Anodenreihen. Alle gleichen Elektroden sind nebeneinander geschaltet. Die Kathoden bestehen aus Feinsilberblechen. Damit sich das abgeschiedene Silber an der Kathode festsetzt, wird es während des Verfahrens von bewegten dünnen Holzplatten beständig von den Kathodenplatten abgestreift. Ein weiterer Vortheil dieser Anordnung ist der, dass gleichzeitig die elektrolytische Flüssigkeit bewegt wird. Das Silber fällt von den Kathoden auf einen mit einem Filtertuch bedeckten Holzrost. Nachdem der ganze Einbau aus dem Bade gehoben werden kann, ist es auch leicht, das abgeschiedene Silber zu entfernen. Der Silberniederschlag wird täglich aus dem Bade entfernt. Den an der Anode sich abscheidenden Anodenschlamm nimmt man zwei- bis dreimal wöchentlich ab. Er wird eingeschmolzen und der Rückstand, der Gold und Platin enthält, gelangt chemisch oder elektrolytisch auf Gold und Platin zur Verarbeitung. Das auf diesem Wege erhaltene Silber enthält 99·95% reines Silber und etwas Kupfer.

Zum Zwecke der Scheidung des Goldes von Platin, Iridium oder Palladium geht man folgendermaßen vor: Man stellt sich eine Goldchloridlösung her, welche auf je 1 *l* Wasser 20—25 *g* Gold und 20—50 cm^3 Salzsäure vom specifischen Gewichte 1·19 enthält und erwärmt diese auf 60—70°. Als Anoden kommen in dieses Bad Rohgoldplatten von 4 *mm* Dicke. Als Kathoden werden dünne Bleche aus Feingold verwendet. Die Stromdichte beträgt 8—10 Ampère für 1 dm^2 Elektrodenfläche. Das Iridium bleibt an der Anode, während das Platin und das Palladium in die Lösung übergehen.

Siemens & Halske A.-G. haben in Transvaal ein Verfahren angewendet, um aus goldarmen Erzen und aus den Rückständen des Goldbergbaues Gold zu gewinnen. Das Rohmaterial wird zunächst fein gemahlen. Hierauf kommt es in mit Cyankalilösung gefüllte Bottiche,

wo es unter beständigem Umrühren mit der Lösung innig gemischt wird. Um die Lösung zu beschleunigen, setzt man auch Oxydationsmittel zu. Die abfließende Lauge wird der Elektrolyse unterworfen. Die angewendete Stromdichte ist sehr gering. Als Anoden dienen in Leinwand eingehüllte Eisenplatten, als Kathoden Bleischnitzel. Das Gold setzt sich an dem Blei ab und wird von demselben durch Umschmelzen getrennt.

Ein anderes Verfahren, um unmittelbar aus den Erzen Gold zu gewinnen, rührt von Peletan und Clerici her. Bei diesem Verfahren findet sowohl das Auslaugen, als auch die Elektrolyse in einem Bottich statt. Dieser Bottich besteht aus Holz. Der Boden ist mit Kupfer belegt, auf welches eine Schichte Quecksilber gegossen wird. Diese beiden Metallschichten dienen als Kathode. Als Anode dienen flügelförmige Eisenbleche, welche, mit achsialen Rührstäben besetzt, an einer achsial in den kreisrunden Bottich ragenden Welle befestigt sind. Das Rohmaterial wird fein gemahlen, mit Cyankalium und Kochsalz zu einem Brei angemacht und in den Bottich gebracht. Die Badespannung beträgt 5—15 Volt, die kathodische Stromdichte 0·16 Ampère für 1 dm^2. Mit Hilfe dieses Verfahrens gelingt es 90% des in den Erzen enthaltenden Goldes zu gewinnen.

120. Elektrolytische Metallgewinnung aus feurigflüssigem Elektrolyt. Das Verfahren, aus geschmolzenen Elektrolyten durch Elektrolyse Metalle zu gewinnen, wird bei der Gewinnung der Alkalimetalle Kalium, Natrium, der Metalle der alkalischen Erden, Calcium, Strontium, Baryum, Magnesium und dem Erdmetall Aluminium angewendet. Zur Gewinnung der Alkali- und Erdalkalimetalle dienen geschmolzene Mengen der Haloidsalze dieser Metalle. Unter Haloidsalzen versteht man die Verbindungen dieser Metalle mit Chlor, Jod, Brom oder Fluor. Diese Verbindungen werden deshalb verwendet, weil sie leicht schmelzbar sind und im geschmolzenen Zustande eine große Leitfähigkeit besitzen. Damit die flüchtigen Metalle Kalium, Natrium und Magnesium aus dem stark erhitzten Elektrolyten nicht in die Luft übergehen, wird der Schmelzpunkt des Haloidsalzes durch Zusatz eines anderen Haloidsalzes herabgedrückt oder man nimmt die Erhitzung des Bades so vor, dass an der Oberfläche des Bades beständig eine halberstarrte oder erstarrte Kruste bleibt, welche ein Verflüchtigen des Metalles verhindert. Befindet sich im Bade ein Gemisch von Metallen, dann kann man die einzelnen Metalle dadurch gesondert abscheiden, dass man verschiedene Stromdichten anwendet. Wenn wir die Reihe Aluminium, Magnesium, Natrium, Kalium, Calcium, Strontium, Barium

aufschreiben, dann verbraucht das Aluminium die kleinste, das Barium die größte Stromdichte. Für Magnesium braucht man z. B. eine Stromdichte von ungefähr 10 Ampère, für Natrium 50 Ampère und für die Erdalkalimetalle Stromdichten von 500—1000 Ampère für 1 dm^2.

121. Gewinnung von Natrium und Kalium. Zur Gewinnung dieser Metalle hat Borchers einen sehr sinnreichen Apparat angegeben, der sich in der Praxis jedoch nicht bewährt hat. Er besteht im Wesentlichen aus einem u-förmigen Gefäße, dessen einer Schenkel aus feuerfester Chamotte, der andere aus Gusseisen besteht. Als Anode dienen Kohlenstäbe, welche in den Schenkel aus feuerfester Chamotte hineinragen, als Kathode der gusseiserne Schenkel. Das Gefäß wird mit einem Gemenge von Haloidsalzen gefüllt, welches Gemenge einen niedrigeren Schmelzpunkt hat als das zur Natriumdarstellung verwendete Kochsalz. Den ganzen Apparat bringt man nun in einen Ofen und setzt ihn der Wirkung der Heizgase aus. Durch diese wird die Masse beständig in Fluss gehalten. Das abgeschiedene Natrium steigt in dem als Kathode dienenden Gusseisenschenkel empor und gelangt am oberen Ende desselben durch ein Rohr in ein Gefäß mit Steinöl. Das an der Anode sich ansammelnde Chlor wird mit Hilfe eines Rohres abgeleitet. Die Badespannung beträgt rund 10 Volt, die kathodische Stromdichte rund 50 Ampère.

Castner hat ein Verfahren und einen Apparat angegeben, die sich beide in der Praxis vorzüglich bewährt haben. Derselbe benützt zur elektrolytischen Darstellung des Natriums das Natriumhydroxyd. Das erzeugte Natrium ist sehr rein und besonders frei von Kalium. Das Natriumhydroxyd, Na(OH), kommt in ein metallenes, cylindrisches Gefäß. In dieses ragt von unten eine massive, cylindrische, metallische Kathode, welche central angeordnet ist. Eine als Hohlcylinder ausgebildete metallene Anode umgiebt die Kathode. Das sich abscheidende Natrium steigt in der geschmolzenen Natriumhydroxydlösung empor und wird von der Oberfläche der Flüssigkeit mittelst eiserner, mit Löchern versehener Löffeln abgeschöpft. Die Erwärmung des Elektrolyten findet durch eine ringförmige, mit Löchern versehene Gasleitung statt, welche das Badgefäß vom Boden aus erwärmt. Den an der Anode sich abscheidenden Wasserstoff und Sauerstoff lässt man entweichen. Die Stromausbeute beträgt 40%.

Die Aluminiumgesellschaft Neuhausen bringt einen Apparat in Anwendung, bei welchem die Kathode nur wenig in die Flüssigkeit eintaucht. Der sich an ihr entwickelnde Metalltropfen wird, bevor er abfällt, mit einem eisernen Löffel abgeschöpft.

Ganz ähnliche Verfahren werden angewendet, um Kalium zu gewinnen, doch findet die Darstellung desselben wegen des geringen Bedarfes im Großen nicht statt.

122. Gewinnung des Magnesiums. Zur elektrolytischen Darstellung des Magnesiums verwendet man den Karnallit, ein Doppelsalz, das aus Magnesiumchlorid und aus Kaliumchlorid besteht. Das Magnesium scheidet sich in Form von größeren Kugeln ab. Setzt man dem stromlosen Bad etwas Flusspat zu und erwärmt man es etwas stärker, dann vereinigen sich die gebildeten Kugeln. In der Ausführung eines geeigneten Apparates der Magnesiumfabrik in Bremen dient das gusseiserne Gefäß, welches das Bad aufnimmt, als Kathode. Die Anode besteht aus Kohle. Das Gefäß steht auf einer Chamotteplatte, die auf den Rost einer Feuerung gelegt ist. Die Klemmenspannung beträgt 6—7 Volt, die Stromdichte rund 10 Ampère für 1 dm^2. Erwärmt wird auf etwa 700° C. Die Stromausbeute beträgt 90%.

123. Gewinnung des Aluminiums. Bei der Bedeutung, welche das Aluminium in neuerer Zeit erlangt hat, wollen wir uns mit der elektrolytischen Darstellung des Aluminiums und der Aluminiumlegierungen etwas eingehender befassen. Zur elektrolytischen Darstellung dieses Metalles werden seine geschmolzenen Verbindungen benützt, da es bis heute noch nicht gelungen ist, dasselbe aus wässerigen Lösungen seiner Verbindungen elektrolytisch herzustellen. Schon im Jahre 1854 stellten Bunsen und auch Deville das Aluminium aus dem aus Chloraluminium und Chlornatrium bestehenden Doppelsalz dar. In der Praxis verwendet man jedoch dieses Doppelsalz nicht, sondern die Verbindungen Aluminiumfluorid, Aluminiumchlorid und Aluminiumoxyd. Die bei dem elektrolytischen Verfahren zur Zerlegung gelangende Verbindung ist das Oxyd, die Thonerde. Das Fluorid und das Chlorid dienen lediglich als Flussmittel. Die Konstruktion eines für das Verfahren geeigneten Ofens ist sehr schwierig, besonders deshalb, weil man das Gefäß nicht von außen erhitzen darf, da kein Tiegelmaterial im Stande ist, die zum Schmelzen der Aluminiumverbindungen nothwendige Temperatur auszuhalten. Das Aluminiumoxyd ist praktisch unschmelzbar. Es löst sich jedoch in den geschmolzenen Chloriden und Fluoriden.

Der erste, der eine befriedigende Ofenkonstruktion entwarf, war P. Héroult. Die Figur 79 zeigt einen Héroult'schen Ofen. Er besteht zunächst aus einem gusseisernen Kasten *K*, der innen mit Ziegeln *Z* ausgekleidet ist. Damit sowohl der Kasten mit den Ziegeln, als auch die Ziegeln untereinander in leitender Verbindung stehen, wird als

Bindemittel der Ziegeln untereinander Kohlenkitt verwendet. Der Kasten sammt den Ziegeln bildet die Kathode. Die Verbindung des Kastens mit dem negativen Pol der Leitung findet mit Hilfe eingegossener Kupferstifte N statt. In den inneren Raum des Ofens ragt ein Paket Kohlenstäbe, welches gehoben und gesenkt werden kann. Diese Kohlen stehen mit der positiven Leitung durch das Metallband P in Verbindung.

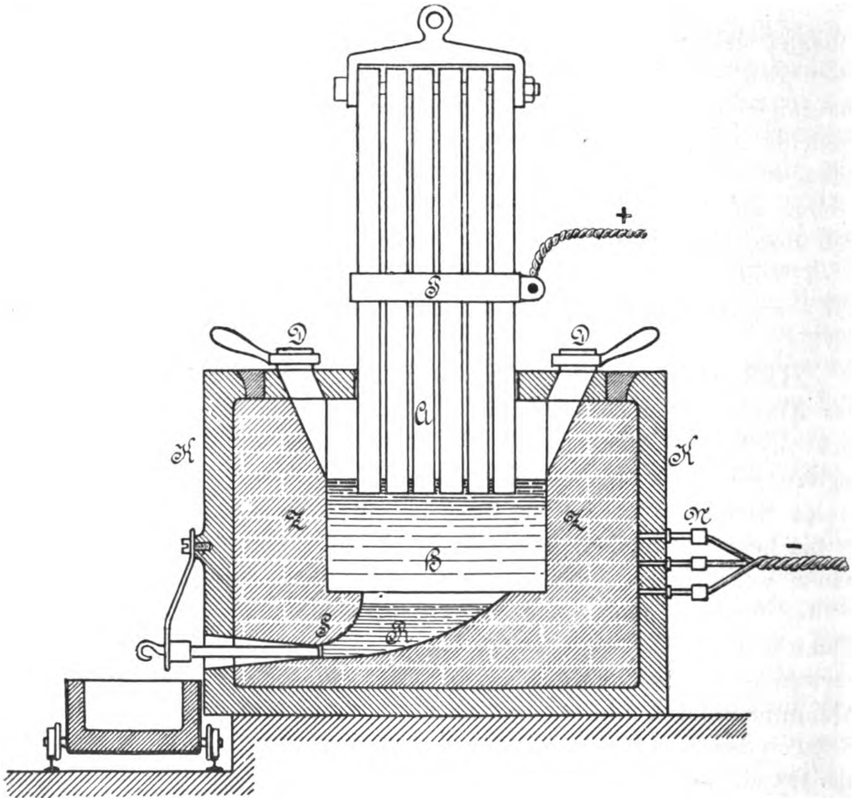


Fig. 79. Aluminiumofen nach P. Héroult.

Zunächst werden in den Ofen die Flussmittel und die Kohle gebracht. Die Anodenkohlen zieht man hoch und erzeugt dadurch einen Lichtbogen zwischen den in den Ofen gebrachten Substanzen und den Kohlen. In Folge der durch den Lichtbogen erzeugten Wärme werden die Flussmittel geschmolzen. Das Ofenmaterial ist vor der sich entwickelnden Hitze geschützt. Die Kohlenauskleidung des Ofens saugt, weil sie porös ist, die Schmelze auf. Nachdem der Ofen an seiner äußeren Oberfläche kalt ist, bildet sich innen eine Kruste, welche das Ofenmaterial vor zu starker Erwärmung schützt. Nun werden die

Deckeln *D* geöffnet, und durch die darunterliegenden Kanäle der Öfen mit dem Aluminiumoxyd beschickt. Die Kohlen taucht man jetzt in die geschmolzene Masse. Der Lichtbogen erlischt und die elektrolytische Wirkung des elektrischen Stromes beginnt. Das Aluminiumoxyd, Al_2O_3, wird nun zerlegt. Das Aluminium sammelt sich im geschmolzenen Zustande im Raume *R*. Der sich bei der Elektrolyse entwickelte Sauerstoff gelangt an die Kohlen und verbrennt sie zu Kohlenoxydgas, *CO*. Dieses Gas entweicht durch die nur lose mit den Deckeln *D* geschlossenen Kanäle. Aus diesem Grunde muss man auch die Kohlen während des elektrolytischen Verfahrens nachschieben. Die Stromdichte muss so gewählt werden, dass sie einerseits die richtige Zersetzung des Aluminiumoxyds bewirkt, andererseits aber auch den Elektrolyten infolge der sich entwickelnden Wärme fortwährend flüssig erhält. Der Raum *R* ist durch eine als Stöpsel dienende Eisenstange geschlossen. Wenn der Raum mit Aluminium gefüllt ist, wird der Stöpsel herausgezogen und die geschmolzene Masse in einen fahrbaren Tiegel abgelassen. Die Badetemperatur beträgt 750°—850° C. Nachdem das Aluminium bei 650° schmilzt, wird dasselbe in flüssigem Zustande erhalten. Die anodische Stromdichte beträgt rund 70 Ampère für 1 dm^2, die Klemmenspannung 3—5 Volt. Man benöthigt, um 1 *kg* Aluminium auszuscheiden, 26·5 *PS*-Stunden. Die Aluminiumwerke arbeiten alle nach diesem Verfahren.

Allerdings bestehen gewisse Abänderungen des Verfahrens, besonders was die Zusätze anbelangt, als auch die Ofenauskleidung. Diese besteht z. B. statt aus Kohle aus einer schwer schmelzbaren Aluminiumverbindung, damit durch die Kohle das Aluminium nicht verunreinigt wird. Im Jahre 1898 betrug die Aluminiumproduktion 6000 Tonnen. Die hiebei verwendeten Pferdestärken betrugen 33.000. Vor 50 Jahren stellte sich der Preis eines Kilogramms Aluminium auf 800 Mark, der heutige Preis eines Kilogramms Aluminium beträgt etwa 2 Mark. Die bei dem Verfahren verwendete Thonerde wird besonders aus dem Baucit hergestellt. Er besteht hauptsächlich aus Aluminiumhydroxyd. Dieses in der Natur vorkommende Material wird zunächst gereinigt, hierauf erhitzt kalciniert. Durch das Erhitzen auf etwa 1100° verwandelt sich das Hydroxyd in das Oxyd. Das aus dem Ofen erhaltene Aluminium wird behufs Reinigung, speciell vom beigemengten Kryolith, umgeschmolzen. Man erhält so ein Produkt, dass 99·6% Aluminium enthält. Von Wichtigkeit ist eine reine Anodenkohle, weil sonst gewisse Bestandtheile derselben, wie z. B. das Silicium in Form von Kieselsäure, wenn sie in die Schmelze gerathen, die Qualität des gewonnenen Aluminiums verschlechtern. Besonders wird

durch diese Verunreinigungen die Festigkeit des Aluminiums verringert. Das reine Aluminium erweist sich gegen atmosphärische Einflüsse sehr widerstandsfähig. Das im Handel vorkommende Aluminium ist jedoch immer etwas verunreinigt, besonders durch Natrium. Es überzieht sich dadurch an der feuchten Luft mit einer Oxydschichte. Diese greift das Metall immer mehr an, bis schließlich ein völliger Zerfall desselben eintritt.

Eine besondere Wichtigkeit haben in neuerer Zeit die Aluminiumlegierungen in der Technik gewonnen. Das rührt daher, weil das Aluminium nebst seinen vorzüglichen Eigenschaften, wie besonders sein geringes specifisches Gewicht, eine Reihe von Eigenschaften hat, welche es für die technische Praxis ungeeignet machen. Zu diesen Eigenschaften gehört seine geringe Härte, seine schlechte Bearbeitbarkeit. Es verschmiert die Feile, lässt sich schwer drehen. Versucht man auf Aluminiumdrähten ein Gewinde aufzuschneiden, dann wird dieses leicht rissig. Man gieng darum an die Erzeugung von Aluminiumlegierungen, welche die guten Eigenschaften des Aluminiums, ohne dessen schlechten Eigenschaften besitzen. Die Erzeugung von Aluminiumlegierungen hat besonders in neuerer Zeit große Fortschritte gemacht. Auf der Pariser Weltausstellung 1900 konnte man eine ganze Reihe technischer Verwendungen von Aluminiumlegierungen beobachten. So sah man kleinere Dampfcylinder, Mechanismen für Automobile, Dynamomaschinen-Gestelle und Details, welche keine magnetische Leitfähigkeit zu besitzen brauchen, physikalische Instrumente etc. aus einer Aluminiumlegierung gegossen und von einem französischen Aluminiumwerk ausgestellt. Die Aluminiumlegierungen sind ebenfalls auf elektrolytischem Wege herstellbar. Sie wurden sogar im Großen viel früher als das Aluminium erzeugt.

Eine der ersten Einrichtungen war der Cocoles-Ofen zur Herstellung von Kupfer- und Eisenaluminiumlegierungen. Dieser Ofen wird jedoch heute nicht mehr verwendet. Er bestand aus einem aus feuerfesten Steinen hergestellten, parallelopipedischen Raum. Dieser Raum erhielt eine Auskleidung mit einer dicken Schichte festgestampften Kohlenkleins. In den inneren Raum wurde das Gemisch aus Aluminiumoxyd, Kohle und dem betreffenden Metall gebracht, das mit dem Aluminium die gewünschte Legierung bilden sollte, also das Kupfer oder das Eisen. In den Ofenraum ragten zwei horizontale, einander gegenüberstehende Kohlen. Diese Kohlenstäbe wurden zunächst soweit einander genähert, dass sich zwischen ihnen ein Lichtbogen bildete. Infolge der sich entwickelnden Wärme schmolz das eingesetzte Material. Die Kohlenstäbe entfernte man nun so weit von einander, dass der Lichtbogen

verlöschte und auf diese Weise der Strom gezwungen war, sich seinen Weg durch die geschmolzene Masse zu bahnen. Die Masse wurde dadurch in Fluss erhalten und so stark erhitzt, dass die vorhandene Kohle reducierend auf das Aluminiumoxyd einwirkte. Es bildete sich dadurch metallisches Aluminium, das sich sofort mit dem vorhandenen Metalle zu einer Legierung verband. Das gleichzeitig entstehende Kohlenoxydgas entwich durch Öffnungen der gusseisernen Deckelplatte. Der elektrische Strom hat also bei dieser Methode keine elektrolytische Arbeit zu leisten, er dient lediglich zur Erhitzung der Schmelze.

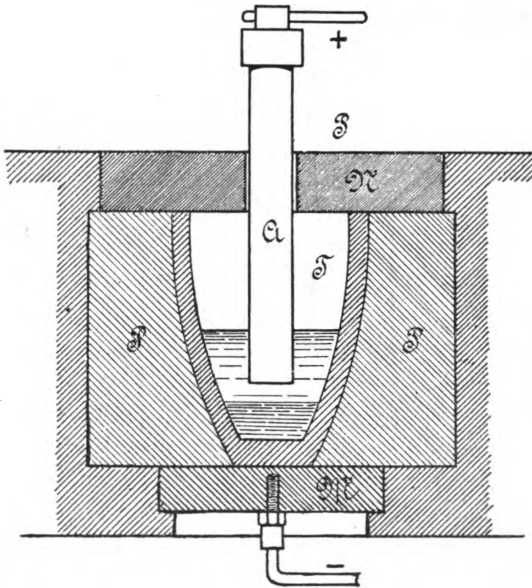


Fig. 80. Ofen für Aluminiumlegierungen nach P. Héroult.

Bemerkenswerte Ofenkonstruktionen zur elektrolytischen Gewinnung der Aluminiumlegierungen rühren von Héroult und Borchers her.

Der Ofen von Héroult ist in der Figur 80 dargestellt. In einer gemauerten Grube, die mit einer Fütterung *P* aus Kohle- oder Magnesiumpulver versehen ist, sitzt auf einer Metallplatte *M* ruhend, der Graphittiegel *T*. Die Platte und folglich auch das Gefäß *T* stehen mit der negativen Leitung in Verbindung. In den Tiegel ragt als Anode der Kohlenstab *A*, welcher durch die als Deckel dienende Chamotteplatte *N* durchgeführt ist. Zunächst kommt das Metall in den Tiegel, welches mit dem Aluminium zu legieren ist. Nun hebt man die Anode, es bildet sich ein Lichtbogen, und dieser schmilzt das Metall.

Jetzt wird das Aluminiumoxyd zugeschüttet, der Kohlenstab in die Masse gesenkt, und die Elektrolyse beginnt.

Die Figur 81 zeigt den Ofen von Borchers. Mit Hilfe dieses Apparates kann man sowohl Reinaluminium als auch Aluminiumlegierungen herstellen. Der Apparat von Borchers ist ganz ähnlich gebaut wie der von Héroult. Die Ausfütterung *F* des Tiegels besteht aus Thonerde oder irgend einer anderen schwer schmelzbaren Aluminiumlegierung. Die Anode *A* besteht aus Kohle, die Kathode *K* ist eine Stahlplatte. Zur Kühlung der Kathode wird derselben mit Hilfe des Rohres r_1 kaltes Wasser zugeführt, die Abfuhr des erwärmten Wassers erfolgt durch das Rohr r_2.

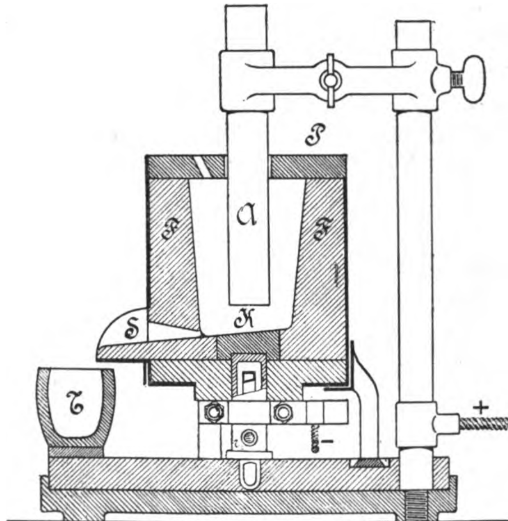


Fig. 81. Ofen nach Borchers.

Seitdem das Aluminium so billig dargestellt werden kann, hat sich sein Verwendungsgebiet sehr erweitert. Wir sprachen schon von seiner Anwendung im Bereiche der Maschinentechnik und wollen noch seine Verwendung im Hüttenbetriebe und in der technischen Chemie hervorheben. Besonders erwähnenswert ist die Verwendung des Aluminiums in der Eisenproduktion. Bei dem Gusse der Ingots traten oft schädliche Oxydationserscheinungen des Materials auf. Zur Vermeidung dieser Erscheinungen gibt man jetzt dem Flusseisen vor dem Gusse geringe Zusätze von Aluminium. Beim Gießen nimmt das Aluminium gierig Sauerstoff auf, verbrennt und schützt so das Eisen vor der Oxydation.

Erwähnenswert ist auch die Verwendung des Aluminiums beim Goldschmidt'schen Verfahren, das dazu dient, Metalle aus schwer

schmelzbaren Oxyden zu gewinnen und auch dazu, hohe Temperaturen zu erzeugen. Zum Zwecke der Metallgewinnung mengt man das Oxyd mit Aluminiumpulver. Das Gemenge wird entzündet. Das verbrennende Aluminium liefert nun soviel Wärme und eine so hohe Temperatur, dass sich die Oxyde reducieren. Da man durch dieses Verfahren in der Lage ist, leicht hohe Temperaturen herzustellen, findet es auch in der Technik Verwendung, wie z. B. beim Schweißen und Löthen. Es wurden sogar mit Hilfe des Goldschmied'schen Verfahrens Eisenbahnschienen am Orte der Verlegung zusammengeschweißt, so dass der Schienenstrang keine Stöße besitzt. Die zu verschweißenden Metallflächen umgibt man mit dem Gemenge aus dem geeigneten Metalloxyde und Aluminium allseitig und entzündet es. Das Aluminium erzeugt nun bei seiner Verbrennung die Schweißtemperatur. Statt des Aluminiums kann auch das Magnesium verwendet werden.

124. Elektrothermische Verfahren. Unter diesem Namen fasst man alle chemischen Verfahren zusammen, welche durch hohe, auf elektrischem Wege erzeugte Temperaturen eingeleitet werden. Hiezu nun verwendet man entweder den elektrischen Lichtbogen oder Widerstandskörper, die man durch eine hohe Stromstärke auf eine hohe Temperatur bringt. Diese Widerstandskörper bestehen aus Kohle, oder aber die zu erhitzenden Substanzen dienen selbst als Leiter, wofern sie die genügende Leitfähigkeit besitzen. Was die erreichbaren Temperaturen anbelangt, so beträgt die Temperatur am positiven Kohlenpol rund 3500°, im Lichtbogen rund 4000°. Will man in Kohlenstäben eine Temperatur von 3500° erzielen, dann muss man nach Borchers in den Stäben eine Stromdichte von 15 Ampère für ein mm^2 anwenden. Infolge des Umstandes, dass man leicht durch die Wärmewirkung des elektrischen Stromes imstande ist, hohe Temperaturen zu erzeugen, gelingt es, alle Metalloxyde im elektrischen Ofen mit Kohle zu reducieren. Diese Thatsache, von Borchers vorhergesagt, wurde von Moissan und Anderen durch den Versuch bestätigt.

Wir wollen nun zwei Haupttypen von elektrischen Öfen besprechen.

Figur 82 zeigt den Lichtbogenofen von Moissan. A und B sind zwei Klötze aus gebranntem Kalk. T ist ein Tiegel, aus Graphit oder Magnesia bestehend. Er sitzt in einer Vertiefung des Körpers B. Der Tiegel wird behufs besserer Wärmeisolation mit Kohlen- oder Magnesiapulver umgeben. K_1 und K_2 sind zwei Kohlenstäbe. Die Höhlung im Körper A dient dazu, die von dem Lichtbogen nach aufwärts ausgestrahlte Wärme nach abwärts zu reflektieren.

Die Figur 83 zeigt den Kurzschlussofen von **B o r c h e r s**. A und B sind zwei feuerfeste Steine. K_1 und K_2 sind zwei Kohlenstäbe. Diese Kohlenstäbe sind durch ein Graphitstäbchen S mit einander verbunden. Dieses Stäbchen S dient also als Widerstandskörper, der durch den elektrischen Strom erwärmt wird.



Fig. 82. Ofen nach Moissan.

Die schwer schmelzbaren Metalle Chrom, Mangan, Wolfram, Uran, Titan etc. werden sämmtliche im elektrischen Lichtbogenofen durch Reduktion ihrer Oxyde mit Kohle gewonnen.

Eine besondere Wichtigkeit für die Industrie hat aber die E r z e u g u n g d e r K a r b i d e erlangt. Von diesen Karbiden sind die wichtigsten das K a l c i u m k a r b i d, das zur Erzeugung des A c e t y l e n g a s e s dient und das S i l i c i u m k a r b i d, das unter dem Namen K a r b o r u n d u m in den Handel kommt und ein vorzügliches Schleif- und Poliermittel ist.

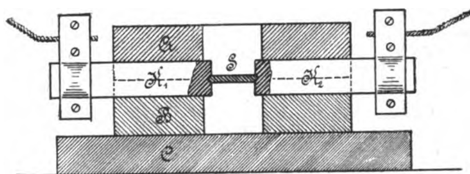
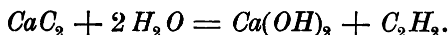


Fig. 83. Kurzschlussofen nach Borchers.

125. Gewinnung des Kalciumkarbids. Man versteht unter Karbiden Kohlenstoffverbindungen. Die meisten Elemente, Metalle und Metalloide haben die Eigenschaft, solche Karbide zu bilden. Während die Karbide der Metalloide wasserbeständig sind, zersetzen sich die Karbide der Metalle in der Regel im Wasser. Das Kalciumkarbid, dessen chemische Zusammensetzung aus der Formel CaC_2 erhellt, gibt mit Wasser Acetylen C_2H_2 und Ätzkalk $Ca(OH)_2$ nach der Formel:



$$CaC_2 + 2\,H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2.$$

Diese chemische Reaktion geschieht unter stürmischer Entwicklung des Acetylengases.

Zur Darstellung des Karbides wird der Lichtbogenofen verwendet. Die Beschickung des Ofens besteht aus gebranntem Kalk, *CaO*, und Kohle. Bei dem Verfahren bildet sich Kalciumkarbid und Kohlenoxydgas. Die bei demselben verwendeten Öfen sind ähnlich gebaut wie der in Figur 79 dargestellte Ofen von Héroult. Der Ofen hat gewöhnlich eine Auskleidung aus Kohle, welche als ein Pol für die Stromzuleitung dient. Der zweite Pol wird von einem Kohlenstab oder einem Paket aus Kohlenplatten gebildet, welche in den Ofen gesenkt werden können. Das Gemisch aus Kohle und Kalk kommt fein gepulvert in den Ofen. Nun wird der Kohlenstab der Ofensohle soweit genähert, dass ein Lichtbogen entsteht. Dieser Lichtbogen bewirkt die Bildung geschmolzenen Kalciumkarbids, welches nach dem Hochheben der Kohlenelektrode als Stromleiter dient.

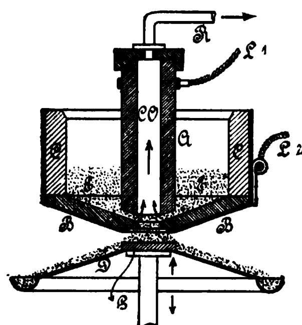


Fig. 84. Lichtbogenofen der Siemens & Halske A.-G.

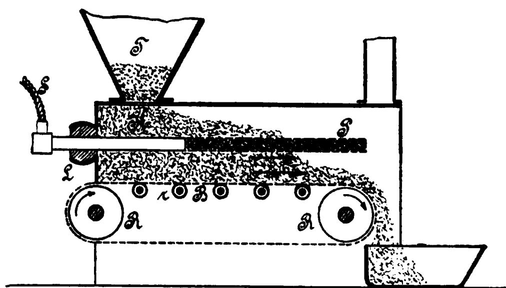


Fig. 85. Ofen nach Roberts.

Figur 84 zeigt einen von der Siemens & Halske A.-G. angegebenen Ofen zur Darstellung des Kalciumkarbids. Der Ofen besteht aus einem eisernen Gefäß, das innen die feuerfeste Fütterung *C* und den Boden *B* aus Kohle besitzt, welcher Boden als eine Elektrode dient. *A* ist ein als zweite Elektrode dienendes, dickwandiges Graphitrohr. *E* ist die pulverförmige Beschickung des Ofens. Das bei dem Processe entstehende Kohlenoxydgas steigt in dem Graphitrohre empor und wird durch das Rohr *R* abgeführt. Dadurch wird die Kohle der Einwirkung des Kohlenoxydgases rasch entzogen und auf diese Weise vor raschem Abbrand bewahrt. Das geschmolzene Kalciumkarbid fällt auf eine kegelförmige mit einer Herdplatte *H* versehene Unterlage *D*, welche in der Höhenrichtung verstellbar ist. Das Kalciumkarbid sammelt sich in der am Rande von *D* befindlichen Rinne.

Figur 85 zeigt den Ofen von Roberts. Das Material wird durch den Trichter *I* dem Ofen zugeführt und fällt hier auf das Transportband *B*. In diese Massen ragen zwei mit der Stromleitung ver-

bundene Kohlenstäbe *K*, welche in einer horizontalen Ebene nebeneinander sitzen. Zunächst werden die beiden Kohlenstäbe gegeneinander geneigt und bilden so einen Lichtbogen. Dieser Lichtbogen erzeugt nun eine geschmolzene Menge Kalciumkarbid. Die Kohlen werden nun auseinandergedreht, der Lichtbogen erlischt, und das geschmolzene Kalciumkarbid dient jetzt als Stromleitung. Nun setzt man das Band *B* mit Hilfe der Rollen *r* und der Mitnehmerwalzen *R* in langsame Bewegung. Durch den elektrischen Strom wird die erzeugte Menge des Kalciumkarbids in beständigem Flusse erhalten. Das sich bewegende Transportband schiebt die geschmolzene Kalciumkarbidmenge ebenfalls vorwärts. Die Bewegung ist aber eine derart langsame, dass sich im gleichen Maße, wie das Kalciumkarbid von den Kohlen wegbefördert wird, neues Kalciumkarbid bildet. Das fortgeführte Kalciumkarbid erstarrt allmählich und es bildet sich eine Platte *P*, die

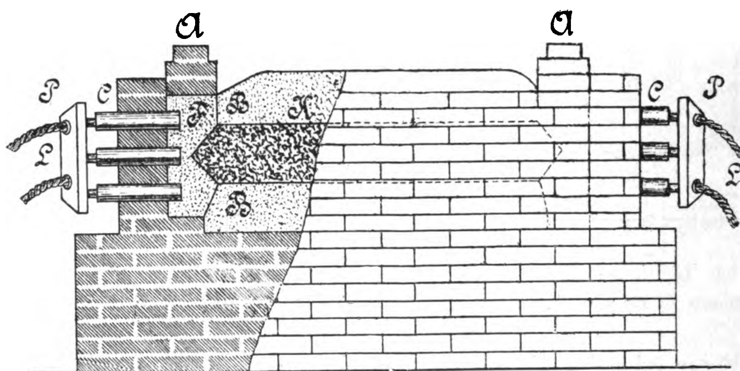


Fig. 86. Ofen zur Darstellung von Kalciumkarbid.

die Vorwärtsbewegung ausführt. Der aus dem Ofen herausragende Theil der Platte wird beständig abgebrochen. Gleichzeitig mit dem Kalciumkarbid gelangt auch das überschüssige Beschickungsmaterial zur Beförderung und fällt in ein bereit stehendes Gefäß, von welchem aus man es neuerdings in den Ofen bringt. Dadurch, dass die Kohlen einerseits vollständig in dem Beschickungsmaterial eingebettet sind, wodurch sie also vom Luftzutritt bewahrt bleiben, andererseits fortwährend mit dem frischen, kalten Beschickungsmaterial in Berührung treten, sind sie vor raschem Abbrand behütet.

Außer diesen Öfen verwendet man auch solche, welche ähnlich gebaut sind wie der in Figur 83 dargestellte Ofen von Borchers. Der verwendete elektrische Strom ist zumeist Wechselstrom, nachdem ja der Strom bloß Heizzwecken dient, und keinerlei elektrolytische

Arbeit zu leisten hat. Der Wechselstrom wird dem Gleichstrom aus dem Grunde vorgezogen, weil ersterer einerseits einen viel gleichmäßigeren Abbrand beider Kohlen bewirkt, und weil es andererseits beim Wechselstrom leicht gelingt, mit Hilfe der Transformatoren Ströme großer Stromstärke und kleiner Spannung zu erzeugen. Zur Erzeugung von 1 *kg* Kalciumkarbid braucht man 6—8 *PS*-Stunden.

126. Gewinnung des Karborundum. Das Karborundum oder Siliciumkarbid, *SiC*, greift Säuren und Oxydationsmittel nicht an. Es widersteht hohen Hitzegraden und wird bloß von geschmolzenen Alkalien zerlegt. Besonders zeichnet es sich durch seine große Härte aus. Rubin wird von diesem Karbide geritzt, Diamant lässt sich schleifen. Es wird darum in der Praxis zur Herstellung von Schleifscheiben verwendet, die dreimal leistungsfähiger sind als die Schmirgelscheiben.

Ein in Amerika verwendeter Ofen zur Darstellung des Kalciumkarbids ist in den Figuren 86 und 87 veranschaulicht. Der Ofen besteht

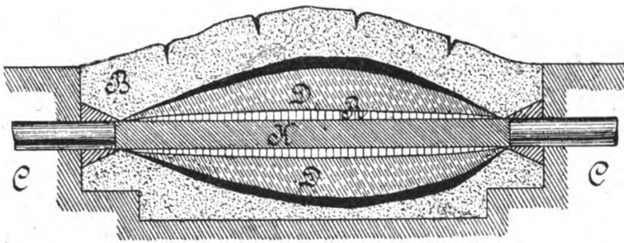


Fig. 87. Ofen zur Darstellung von Kalciumkarbid.

aus Mauerwerk, dessen Ziegel nur lose ohne Mörtel aneinandergefügt sind. In eine in diesem Mauerwerk freigelassene, rechteckige Grube kommt die Beschickung *B*, welche aus einem pulverigen Gemisch von 20 Theilen Koks, 29 Theilen reinem Quarzsand, SiO_2, 5 Theilen Kochsalz und 2 Theilen Sägemehl oder Kork besteht. *K* ist ein Kern aus grob gemahlenem Koks. *F* stellt eine Koksmasse aus feinerem Korn bestehend dar, in welche die als Elektroden dienenden Kohlenstäbe *C* hineinragen. Die Koksmasse *F* ist mit Ziegeln *A* beschwert. Als Betriebsstrom dient Wechselstrom. Der Ofen benöthigt eine Stromstärke von 30.000 *A* und 20 Volt. Das Verfahren im Ofen dauert 24 Stunden, und werden während dieser Zeit 2000 *kg* Karborundum gewonnen. Die Wirkung des Stromes ist die, dass der Kern *K* in lebhafte Weißglut versetzt wird. Die Reduktion des Siliciumdioxyd beginnt und aus der Beschickung brechen blaue Flammen von Kohlenoxydgas hervor. Wenn das Verfahren beendet ist, wird das Mauerwerk entfernt. Figur 87 zeigt

den Ofeninhalt nach Beendigung des Verfahrens. Der Kern *K* hat sich in Graphit verwandelt. Das gebildete Karborundum liegt in Krystallform als Druse *D* um den Kern. Die dem Kerne *K* zugewandte Oberfläche dieser Druse, *R*, besteht aus Graphit. Die Karborundumkrystalle werden gegen außen immer kleiner. Die äußere Hülle der Druse bildet eine Schichte amorphen Karbids. *B* ist die unverändert gebliebene Masse der Beschickung. Die Schichte *B* zeigt Risse und Sprünge, durch welche die Kohlenoxydgase ihren Weg genommen hatten. Das Karborundum wird nun in Stücke zerschlagen und durch Waschen mit Wasser und Säuren gereinigt. Nach dem Reinigen kommen die Stücke auf schwere Kollergänge. Dort werden sie gemahlen und hierauf durch Abschlemmen nach der Größe des Korns genau sortiert. 1 *kg* Karborundum erfordert eine Arbeitsmenge von 8·6 Kilowattstunden.

VI. Kapitel.

Elektrolytische Darstellung von Wasserstoff, Sauerstoff, Ozon, Chlor, Bleichflüssigkeiten, Alkali und Mineralfarben.

127. Elektrolytische Darstellung von Wasserstoff und Sauerstoff. Obwohl der Wasserstoff und der Sauerstoff in der Industrie ziemlich häufige Verwendung finden, bestehen doch nur wenige Fabriken, welche diese Gase im Großen auf elektrolytischem Wege erzeugen. Die Ursache liegt im Wesentlichen darin, dass es nur sehr wenige Apparate gibt, welche entsprechen. Besonders ist darauf zu achten, dass sich bei der Elektrolyse kein explosives Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff (Knallgas) bildet. Der auf chemischem Wege hergestellte Sauerstoff und Wasserstoff ist nie chemisch rein. Man muss deshalb nach dem chemischen Verfahren der Darstellung noch eine Reinigung der Gase vornehmen. Dieser Vorgang entfällt vollständig bei der elektrolytischen Darstellung von Sauerstoff und Wasserstoff. Die auf diesem Wege gewonnenen Gase sind völlig rein bis auf einen kleinen Gehalt von Ozon im Sauerstoff. Was die technische Verwendung von Sauerstoff und Wasserstoff anbelangt, wäre Folgendes zu erwähnen. Als eine vorzügliche Verwendung dieser Gase gilt die als Gemisch, Knallgas genannt, zum Zwecke der Herstellung hoher Temperaturen, wie sie z. B. beim Löthen von Weich- und Hartblei nothwendig sind. Das Knallgas stellt kein Gasgemisch von Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnisse 2 : 1 vor, es ist vielmehr zu bedenken, dass ja bei der Verbrennung die atmosphärische Luft ebenfalls mitwirkt, und trotzdem die Flamme keine oxydierende Wirkung ausüben darf. Das in Verwendung kommende Knall-

gas besteht vielmehr aus 1 Volumtheil Wasserstoff und 0·3—0·4 Volumtheilen Sauerstoff. Die Gase werden in Stahlbomben, auf 100 oder 150 Atmosphären gepresst, transportiert. Vor dem Füllen werden die Flaschen mit dem doppelten Druck amtlich geprobt. Die Knallgasflamme kann auch zum Schweißen von Röhren oder anderen Gegenständen benützt werden. Mit Hilfe der Knallgasflamme ist es auch gelungen, Gusseisen hart zu löthen. Als Löthmittel werden Eisenoxyde und als Flussmittel Borax verwendet. Von Bedeutung ist auch die Verwendung des Knallgases zum Betriebe des Drumont'schen Kalklichtes. Reiner Sauerstoff wird vielfach in der Medicin, in der chemischen Industrie, in Laboratorien, sowie zur Herstellung von Ozon verwendet. Der Wasserstoff findet seine hauptsächlichste Verwendung in der Luftschiffahrt zum Füllen der Ballons. Die Militärballons werden fast alle mit Wasserstoff gefüllt. Auch Graf Zeppelin verwandte zur Füllung seines Ballons Wasserstoffgas, das er im komprimierten Zustande aus Luzern bezog.

Es gibt eine Reihe von Apparaten behufs elektrolytischer Darstellung von Sauerstoff und Wasserstoff.

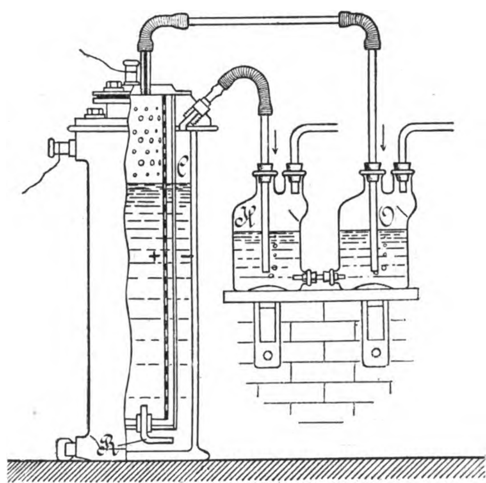


Fig. 88. Apparat zur Darstellung von Wasserstoff und Sauerstoff nach Renard.

Die Figur 88 zeigt einen im Jahre 1889 von Renard in Paris konstruierten Apparat. Die elektrolytische Flüssigkeit besteht aus einer Lösung von 1000 *g* Wasser auf 150 *g* Ätznatron. Diese Atznatronlösung hat die maximale Leitungsfähigkeit. Diese Lösung befindet sich in einem gusseisernen Recipienten, der als eine Elektrode dient und in der Figur mit — bezeichnet ist. Die in der Figur mit + bezeichnete positive Elektrode ist cylindrisch und perforiert. Beide Elektroden sind von einander durch einen porösen Cylinder *C* getrennt. Der äußere und der innere Cylinder kommunicieren durch das Rohr *R* miteinander. Die dem Apparate entströmenden Gase gehen zunächst durch hydraulische Druckausgleicher, und werden hierauf in Gasometern gesammelt. Bei der Elektrolyse scheidet sich der Wasserstoff an der negativen, der Sauerstoff an der positiven Elektrode aus. Bei einer verwendeten Stromstärke von 25—30

Ampère erhält man bei einer Klemmenspannung von 3 Volt in einer Stunde 12 Liter Wasserstoff und 6 Liter Sauerstoff.

Eine andere Konstruktion rührt von Schoop her. Auch bei dieser dient der Behälter des Elektrolyten als eine Elektrode und zwar als Anode. Der Boden dieses Gefäßes ist mit einer isolierenden Schicht bedeckt. Auf dieser Schichte stehen röhrenförmige Kathoden, welche von oben geschlossenen Glas- oder Kaolinröhren umgeben sind. Die Kathoden besitzen an ihren oberen und an ihren unteren Enden Öff-

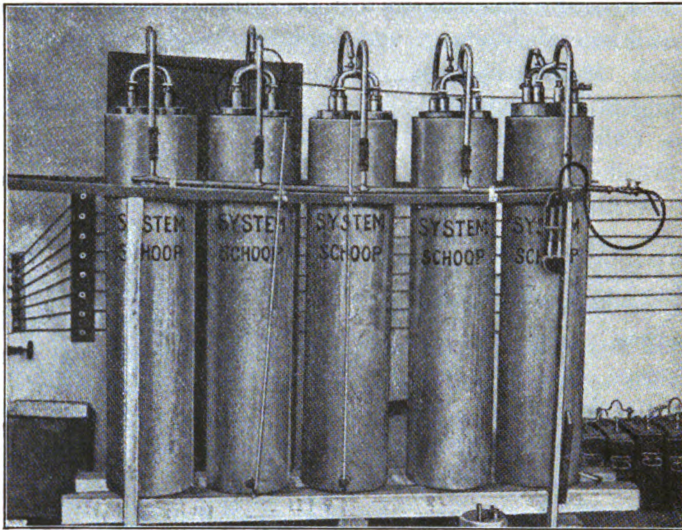


Fig. 89. Apparat zur Darstellung von Wasserstoff und Sauerstoff nach Schoop.

nungen, durch welche der Elektrolyt frei cirkulieren kann. Das zwischen den Kathodenröhren und den Isolierröhren abgeschiedene Wasserstoffgas gelangt in die Kathodenröhren und von hier durch mit Glaswolle gefüllte Röhrenansätze in ein Sammelrohr und sodann in den Gasometer. Die Figur 89 zeigt eine Ansicht des Apparates. Der Sauerstoff gelangt entweder mit dem Wasserstoff in einen gemeinsamen Gasometer oder jedes Gas wird für sich in einen Gasometer geleitet. Vor dem Eintritt in den letzteren schickt man die Gase gewöhnlich noch durch Flaschen die mit Kalkmilch gefüllt sind, um dadurch die Gase von den mitgerissenen Säuremengen durch Neutralisieren dieser Theile zu befreien. Diese Apparate weisen dadurch eine große Betriebssicherheit auf, dass die Diaphragmen fehlen.

Die E.-A.-G. v. Schuckert & Co. hat ebenfalls einen Apparat zur elektrolytischen Darstellung von Wasserstoff und Sauerstoff hergestellt. Die Elektroden bestehen aus Eisen, der Elektrolyt ist Natronlauge. Eine Zelle erfordert eine Klemmenspannung von 2·7—2·8 Volt und eine Stromstärke von 200 Ampère. Zur Erzeugung von 100 m^3 Sauerstoff und 200 m^3 Wasserstoff in 24 Stunden braucht man 60 · 24 Kilowattstunden.

128. Darstellung von Ozon. Das Ozon ist eine besondere Art von Sauerstoff, man nennt es auch aktiven Sauerstoff. Seine chemische Zusammensetzung lässt sich durch das Schema $\left.\begin{matrix}O\\O\end{matrix}\right\}O$ darstellen. Die zwei Wertigkeiten eines Sauerstoffatomes sind an zwei freie Wertigkeiten zweier untereinander verbundener Sauerstoffatome ge-

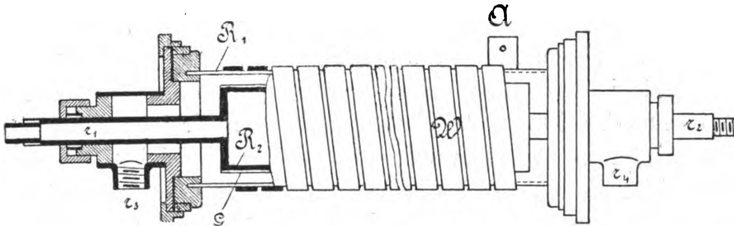


Fig. 90. Ozonapparat der Siemens & Halske A.-G.

kettet. Das Ozon entsteht bei sehr vielen chemischen und elektrischen Vorgängen, wie z. B. bei der Verdunstung des Wassers, der Elektrolyse des Wassers und den elektrischen Funkenentladungen (Blitz). Ozon hat ungemein heftige, oxydierende Wirkungen und wird dasselbe darum sowohl als desinficierendes Mittel, als auch besonders zum Bleichen verwendet.

Die Figur 90 zeigt einen von Siemens & Halske A.-G. konstruierten Apparat zur Darstellung größerer Mengen von Ozon. Auf dem Glimmerrohr R_1 ist ein Kupferband W aufgewickelt. Dieses Band dient als Elektrode. Dem Rohre R_1 koncentrisch ist das Metallrohr R_2 angeordnet, welches als zweite Elektrode dient. Durch den Rohrstutzen r_3 wird Luft in den Apparat eingeleitet. Diese Luft streicht durch den Raum zwischen R_1 und R_2 und tritt durch den Rohrstutzen r_4 wieder aus dem Apparate. Das Kupferband W und das Metallrohr R_2 werden nun je mit einem Pol eines Hochspannungsapparates verbunden. Als solcher kann eine Elektrisier- oder Influenzmaschine verwendet werden oder aber auch ein Ruhmkorff'scher Induktionsapparat oder die Hochspannungswicklung

eines Transformators. Bei größeren Apparaten verwendet die Siemens & Halske A.-G. Wechselstrom mit einer Spannung von 6000—7000 Volt. Zwischen den beiden Elektroden tritt nun eine dunkle elektrische Entladung ein und der Sauerstoff der zugeführten Luft verwandelt sich in Ozon. Damit kein Zerstäuben der Metallmasse des Rohres R_2 eintritt, ist dieses mit einer Glimmerschichte G bedeckt. Durch das Rohr r_1 wird während der Entladungen Kühlwasser dem Apparate zugeführt, welches Wasser seinen Weg durch den Hohlraum des Cylinders R_2 nimmt und durch das Rohr r_2 den Apparat wieder verlässt. Das Kühlwasser hat den Zweck, zu verhindern, dass sich die Luft erwärmt, da sonst die Ausbeute eine geringere würde. Die Luft reinigt man vor dem Eintritte in den Apparat von Staub. Statt Luft kann dem Apparate auch trockenes Sauerstoffgas zugeführt werden. Gewöhnlich werden zehn solcher Apparate gemeinsam betrieben. Bei gut geführtem Betriebe erhält man für jede Pferdestärkenstunde etwa 18 *g* Ozon.

Eine andere Konstruktion rührt von Andreoli her. Diese Apparate zeigen einen ähnlichen Aufbau wie Akkumulatoren und Kondensatoren. Die metallischen Belegungen sind rechteckige Platten, als elektrische Schicht dient Glas. Die Metallplatten besitzen zahlreiche kleine Spitzen. Die Luft wird nun zwischen den Platten durchstreichen gelassen und wieder bewirkt die dunkle Entladung eine Verwandlung von Sauerstoff in Ozon. Die Apparate benöthigen bloß eine Spannung von 3000 Volt. Bei höheren Spannungen würde sich leicht Salpetersäure bilden. Ein solcher Apparat, der zum Betriebe 1 Kilowatt braucht, erzeugt in einer Stunde 120 *g* Ozon.

Die vorzüglichste Anwendung findet das Ozon beim Bleichen der Leinenfaser. Das Garn wird gewöhnlich mit Chlorkalk vorgebleicht. Hierauf kommt es in einen Raum, in dem es 6—8 Stunden der Einwirkung von trockener Luft und Ozon ausgesetzt wird. Auf je 1000 *kg* des Bleichgutes kommen 20 *mg* Ozon. Die Verwendung des Ozons als Desinfektionsmittel hat keine besonderen Fortschritte aufzuweisen. Bemerkenswert ist noch die Verwendung des Ozons zur Entfuselung des Alkohols und zur künstlichen Alterung von Weinsorten.

129. Elektrolytische Darstellung des Chlors. Zur Gewinnung des Chlors auf elektrolytischem Wege wird besonders die koncentrierte Salzsäure verwendet. Enthält die Lösung weniger als 23% Salzsäure, dann ist das gewonnene Chlorgas durch Sauerstoff verunreinigt. Die Anode wird von der Kathode durch ein Diaphragma getrennt, damit das an der Anode ausgeschiedene Chlor sich nicht mit

dem an der Kathode ausgeschiedenen Wasserstoff neuerdings zu Salzsäure verbinde. Man gibt der Lösung auch Zusätze von Kalium- und Natriumchlorid. Die Stromdichte beträgt 6—10 Ampère für 1 dm^2, die Klemmenspannung rund 3 Volt. Die Elektroden bestehen aus Kohle, da das Platin von koncentrierten Säuren angegriffen wird. Seine größte Verwendung findet das Chlor bei der Herstellung des Chlorkalks.

130. Darstellung von Bleichflüssigkeiten. Das Chlor bildet den wirksamsten Bestandtheil aller Bleichflüssigkeiten. Die früher zumeist verwendete wässerige Lösung von Chlorkalk als Bleichmittel hatte den Nachtheil, dass sie die Festigkeit der mit ihr behandelten Gewebe herabsetzte. Andererseits musste auch nach dem Bleichen durch sehr sorgfältiges Waschen oder Ansäuern jede Spur von Chlor aus dem Gewebe entfernt werden, weil dasselbe sonst einem frühen Verfalle entgegengieng. Jetzt verwendet man vorzüglich Hypochloridlösungen, Zusammensetzungen wie $NaClO$ und $KClO$, Natriumhypochlorid und Kaliumhypochlorid. Diese Lösungen greifen die Gewebe nur sehr wenig an und sind leicht herstellbar. Man stellt sie in den Fabriken in kleinen Mengen unmittelbar vor dem Gebrauche her. Als Elektrolyt verwendet man eine verdünnte Lösung von Natriumchlorid, $NaCl$, oder Kaliumchlorid KCl. Die Elektroden, welche hintereinander geschaltet sind, bestehen aus Platin-Iridium. Ein Diaphragma wird bei diesem Verfahren nicht angewendet. Der elektrische Strom spaltet zunächst das Natriumchlorid in Natrium und Chlor. Das Natrium verbindet sich mit der Hydroxylgruppe (OH) zu $Na\,(OH)$, Natriumhydroxyd oder Ätznatron. Das gebildete Ätznatron tritt nun in Wechselwirkung mit dem Chlor nach der Formel:



$$2\,Na(OH) + Cl_2 = NaCl + NaClO + H_2O.$$

Es bildet sich also ein Theil des zersetzten Natriumchlorids zurück, ferner entsteht das Natriumhypochlorid und Wasser.

Einen in der Praxis verwendeten Apparat zur Herstellung einer Lösung von Hypochlorid zeigt die Figur 91. Es ist der Elektrolyser nach Kellner. A ist ein Gefäß aus Steingut. In diesem Gefäße befinden sich 19 Glasplatten, die auf ihren beiden Seiten mit einem maschenförmigen Geflecht aus dünnem Platin-Iridiumdraht bedeckt sind. Diese beiden Belegungen stehen mit einander durch dickere Drähte in Verbindung, welche die Glasplatte durchsetzen. Die Lauge tritt durch ein Rohr unten in das Gefäß ein. Die Lösung ist eine 10%ige Kochsalzlösung. Die Flüssigkeit füllt das Gefäß und tritt oben durch die Rohre r in ein Sammelgefäß, von wo sie wieder in den

Apparat gelangt. Dieser Kreislauf der Flüssigkeit wird durch eine Hartbleipumpe bewirkt. Wenn die Flüssigkeit etwa 20mal den Apparat durchflossen hat, besitzt sie einen Gehalt an Hypochlorid von 1% und kann nun als Bleichflüssigkeit verwendet werden. Da die Flüssigkeit durch den galvanischen Strom starke Erwärmung erfahren würde, ist das Sammelgefäß mit Kühlschlangen umgeben, welche die Temperatur der Lösung auf 20°—25° C erhalten. Die Hypochloridlösung verdünnt man noch vor dem Gebrauche. Ein bestimmter Apparat dieses Systems braucht z. B. 115 Volt Klemmenspannung, 5·75 Volt pro Zelle und eine Stromstärke von 1800 Ampère. In 24 Stunden liefert dieser Apparat 52 m^3 Bleichflüssigkeit mit einem Hypochloridgehalt von 1%.

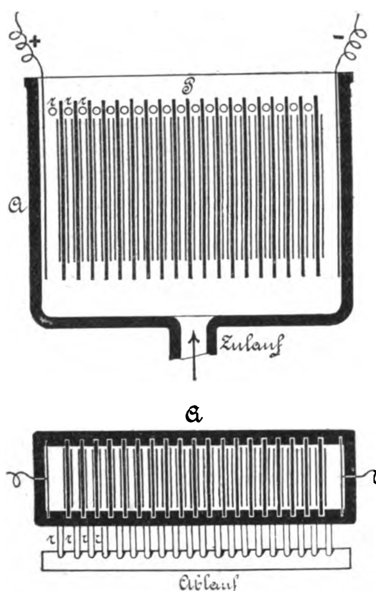


Fig. 91. Elektrolyseur nach Kellner.

Andere Bleichmittel sind das Kalium- oder das Natriumchlorat. Diese Verbindungen haben die chemischen Formeln $KClO_3$ und $NaClO_3$. Kellner verwendet als Elektrolyt eine gesättigte Kaliumchloridlösung mit einem Zusatze von 3% Ätzkalk, $Ca(OH_2)$. Das anodisch ausgeschiedene Chlor wirkt auf den Ätzkalk ein und es entsteht Kaliumchlorid, Kaliumchlorat und Wasser. In der Praxis werden die Alkalichloride zumeist auf Chlor und Ätzalkalien verarbeitet, da sich einerseits der Transport verdünnter Bleichlaugen zu hoch stellt, andererseits nur ein geringer Bedarf an Chloraten vorhanden ist.

131. Gewinnung von Chlor und Alkali.

Bei der Darstellung von Chlor mit einem Ätzalkali müssen die Elektrodenräume von einander getrennt sein. Im anderen Falle würde das an der Anode ausgeschiedene Chlorgas zur Kathode gelangen können und so Anlass geben zur Rückbildung des Chlorids und zu anderen chemischen Umsetzungen. Auch das an der Kathode ausgeschiedene Ätzalkali würde, wenn es zur Anode käme, zersetzt werden. Der Anodenraum ist von dem Kathodenraum entweder durch eine in die Zelle eingebaute poröse Zwischenwand getrennt, oder man verwendet zur Trennung dieser beiden Räume Diaphragmen. Diese Diaphragmen können aus verschiedenartigen Materialien hergestellt sein. So ver-

wendet man zu diesem Zwecke Papier, Filz, Asbest, Cement, Kieselguhr, Sand u. s. w. In Deutschland werden besonders Cementdiaphragmen verwendet.

Den Aufbau einer elektrolytischen Zelle zeigt die Figur 92. *W* ist eine undurchlässige Querwand, welche den Raum der Zelle in einen Anoden- und einen Kathodenraum theilt. Diese Wand reicht in eine Schichte *S*, welche chemisch indifferent aber porös ist und aus Sand, Filz, Glas oder Asbestwolle besteht. Die Sonderung des Zellenraumes in zwei von einander geschiedene Theile kann auch in der Weise durchgeführt werden wie es die Figur 93 zeigt. W_1 und W_2 sind 2 un-

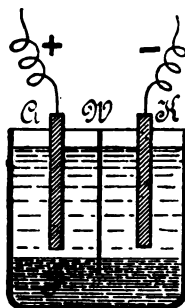


Fig. 92.
Elektrolytische Zelle mit Diaphragma.

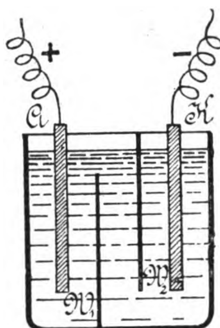


Fig. 93.
Elektrolytische Zelle ohne Diaphragma.

durchlässige Wände. Die Stromleitung findet aus dem Anodenraum über W_1 zwischen den Wänden und unter W_2 in den Kathodenraum statt. Zwischen den Wänden W_1 und W_2 bildet sich eine neutrale, stehende Flüssigkeitsschicht. Der Zufluss neuer Lösung erfolgt zwischen den Wänden W_1 und W_2, so dass in der Flüssigkeit eine Strömung gegen die Elektroden besteht.

Ähnlich wie dieser Apparat ist der von Hulin gebaute.

Eine besondere Konstruktion zeigen die Apparate, bei welchen Quecksilber als Mittelleiter verwendet wird. Den Bau eines solchen Apparates zeigt die Figur 94. Die luftdicht geschlossene Zelle wird durch eine Wand *W* in 2 Theile getheilt. Die Anode *A* besteht aus Kohle, die Kathode *Fe* aus Eisen. Der Anodenraum ist mit Natriumchloridlösung gefüllt, der Kathodenraum mit Natronlauge. Die leitende Verbindung zwischen Anoden- und Kathodenraum wird durch eine am geneigten Boden fließende Quecksilberschichte *Hg* hergestellt. Durch den elektrischen Strom findet im Anodenraum eine Zerlegung des Natriumchlorids in Chlor und Natrium statt. Das Chlor entweicht durch

das Rohr r_1. Das Natrium verbindet sich mit dem Quecksilber zu einem Amalgam. Die sich bewegende Quecksilbermasse bringt das Natrium in den Kathodenraum. Im Kathodenraum bildet sich infolge von Wasserzersetzung Wasserstoff und Sauerstoff. Hier geht nun das Natrium in die Lösung über und es bildet sich Ätznatron, $Na(OH)$, die gewünschte Verbindung. Infolge der Wasserzersetzung im Kathodenraume befindet sich in demselben Sauerstoff, welcher einen Theil des Quecksilbers oxydiert. Dadurch geht nicht nur ein Theil des Quecksilbers verloren, sondern das Quecksilber verliert auch seine Leichtflüssigkeit. Um das zu vermeiden, hat Kellner vorgeschlagen, die Eisenkathode mit dem Quecksilberleiter zu verbinden. Das Quecksilber, beziehungsweise das Natriumamalgam bildet dadurch mit der Natronlauge und dem Eisen ein kurz geschlossenes Element. Der Strom dieses

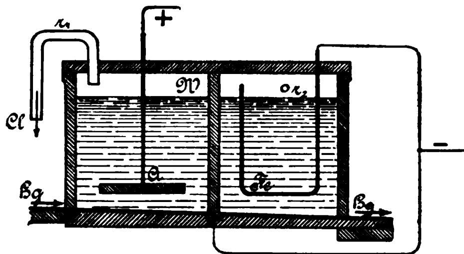


Fig. 94. Zelle zur Kochsalz-Elektrolyse.

Elementes fließt vom Eisen zum Natriumamalgam. Dieser Strom zersetzt nun das Natriumamalgam unter Bildung von Wasserstoff an der Kathode. Eine Oxydation des Quecksilbers ist dadurch ausgeschlossen. Statt der Anode aus Kohle verwendet man, um einer Zersetzung derselben vorzubeugen, auch eine solche aus Platin oder Platiniridium. Die nothwendige Klemmspannung beträgt 3·5—5·5 Volt.

Ein anderer Apparat ist der von Hargreaves und Bird. Als elektrolytische Flüssigkeit wird Kochsalzlösung verwendet. Im Kathodenraum erhält man Natronlauge. In den Raum leitet man nun Wasserdampf und Kohlensäure und erhält so die Verbindung Na_2CO_3, Natriumkarbonat oder Soda. Bei einem Probebetrieb mit diesem Apparate lieferte eine mit einer Gasmaschine unmittelbar gekuppelte Dynamomaschine den nöthigen Strom. Die Verbrennungsgase des Gasmotors wurden als Wasserdampf-Kohlensäure-Gemisch verwendet.

132. Herstellung von Mineralfarben. Um Mineralfarben oder unlösliche Metalloxyde zu erzeugen, dient das Verfahren von Luckow. Bei diesem Verfahren besteht die Anode immer aus

dem Metall, welches in der Verbindung enthalten sein soll. Die elektrolytische Flüssigkeit ist immer die Mischung zweier Natronsalzlösungen. Das Anion der einen Salzlösung hat den Zweck, mit dem Metall der Anode ein leicht lösliches Salz zu bilden. Durch das Hinzutreten des Anions der zweiten Natronlösung entsteht das unlösliche Endprodukt. Das eine Salz, welches die Fällung bewirkt, wird stark verdünnt angewendet, das andere mit dem Koncentrationsgrad, welcher seiner besten Leitfähigkeit entspricht. Bei dieser Einrichtung des Bades benöthigt man den kleinsten Arbeitsaufwand. Zur Darstellung von Bleiweiß verwendet man einen Elektrolyten, welcher 7% Natriumchlorat und 0·11% Natriumkarbonat enthält. Die Stromdichte beträgt 0·5 Ampère für ein dm^2, die Klemmenspannung 1·25—1·3 Volt. Die Zusammensetzung des Bades soll konstant erhalten, und die Flüssigkeit fortwährend bewegt werden, was durch Einblasen von Kohlensäure geschieht. Das Chromgelb ist neutrales Bleichromat. Der zu seiner Darstellung verwendete Elektrolyt besteht aus Natriumchlorat und Natriumchromat, die verwendete Anode aus Weichblei. Man arbeitet mit einer Stromdichte von 0·5 Ampère für ein dm^2.

Das Mineralgrün und das Bergblau sind Farben, die aus basischem Kupferkarbonat bestehen. Der Elektrolyt ist aus einer Lösung von reinem Kochsalz und reiner Soda zusammengesetzt. Die Elektroden bestehen aus Kupfer. Die verwendete Stromdichte beträgt 0·5 Ampère für ein dm^2, die Badespannung 2 Volt. Während der Elektrolyse wird dem Elektrolyten Wasser und Kohlensäure zugeführt.

VII. Kapitel.

Der galvanische Strom in der organischen Chemie.

133. Allgemeines. Sind die verwendeten Lösungen Leiter der Elektricität, dann ist die Wirkung des galvanischen Stromes bei der Darstellung organischer Verbindungen eine elektrolytische. Zumeist jedoch wird der galvanische Strom zur elektrolytischen Darstellung einer anorganischen Substanz verwendet, welche erst sekundär auf einen organischen Körper einwirkt, der dem Elektrolyten beigemischt ist.

134. Strom als Reinigungsmittel. Eine ziemlich wichtige Verwendung des galvanischen Stromes im Gebiete der organischen Chemie ist die als Reinigungsmittel. So werden Zuckersäfte dadurch von ihren löslichen anorganischen Bestandtheilen befreit, dass man dieselben einer Elektrolyse unterwirft, wodurch diese anorganischen Bestandtheile

gefällt werden. Das Reinigungsverfahren verläuft folgendermaßen. Der Zuckersaft, den man durch Auslaugen der Zuckerrüben mit warmem Wasser gewinnt, wird zunächst durch Erhitzen auf 85° C vom größten Theil der beigemengten Eiweißstoffe befreit. Nun erfolgt die schon angedeutete Elektrolyse des Zuckersaftes und hierauf eine weitere Klärung der Lösung durch Kalkzusatz. Die Elektrolyse erfolgt im warmen Zustande des Bades in großen Eisengefäßen mit Zink- und Aluminiumelektroden. Die Stromdichte beträgt 0·07 – 0·14 Ampère für ein dm^2 die Klemmenspannung 6—8 Volt.

135. Gerben. Eine weitere technisch wichtige Anwendung des galvanischen Stromes ist die beim Gerben. Durch den galvanischen Strom wird bewirkt, dass der Gerbstoff rasch und leicht in die Poren der zu gerbenden Haut eindringt. Bei Anwendung eines galvanischen Stromes von beständig gleicher Richtung würde eine Gasentwicklung vor sich gehen, und die Folge davon wäre ein Verlust an Gerbstoff. Darum wendet man den Strom von Zeit zu Zeit oder benützt besser Wechselstrom. Die Anordnung im Bade ist die, dass die zu gerbende Haut als Diaphragma zwischen die Elektroden gespannt wird.

VIII. Kapitel.

Herstellung künstlicher Diamanten.

136. Künstliche Diamanten. Dem Pariser Chemiker Moisseau und dem Italiener Quirino Majorana ist es gelungen, künstliche Diamanten herzustellen. Moisseau arbeitet mit einer Eisenkugel, die einen Kern von sehr kohlenhaltigem Gusseisen besitzt. Die ganze Kugel wiegt 200 *g*, sie wird in einem elektrischen Ofen erhitzt und dann plötzlich in einem Bade von geschmolzenem Blei abgekühlt. Die äußere Kruste der Eisenkugel geht dabei sofort in einen festen Zustand über, während sich die innere erst allmählich unter großem Drucke verhärtet, wobei eine theilweise Kristallisation in der Form von Diamanten vor sich geht. Gelegentlich der Pariser Weltausstellung (1900) sahen wir diese sensationelle Erfindung; sie bildet einen neuen, gewaltigen Triumpf der modernen Elektrotechnik und trägt gewiss nicht wenig dazu bei, das Interesse für diese hehre Wissenschaft und Industrie immer lebhafter wachzurufen.

Anhang.

Verordnung der k. k. österreichischen Ministerien des Innern, des Handels und der Eisenbahnen vom 14. November 1901, betreffend die Herstellung und Verwendung von Calcium-Carbid und Acetylen, sowie den Verkehr mit diesen Stoffen.

Unter Zugrundelegung der bisherigen Erfahrungen über die Eigenschaften des Calcium-Carbids ($Ca\ C_2$) und des aus demselben zu gewinnenden Leuchtstoffes Acetylen ($C_2\ H_2$) werden hinsichtlich der Herstellung und der Verwendung dieser beiden Stoffe, sowie des Verkehres mit demselben auf Grund der Gewerbeordnung, des Sanitätsgesetzes vom 30. April 1870, R.-G.-Bl. Nr. 68 und des Gesetzes vom 27. Mai 1885, R.-G.-Bl. Nr. 134, betreffend Anordnungen gegen den gemeingefährlichen Gebrauch von Sprengstoffen, zur Wahrung der hiebei in Betracht kommenden öffentlichen Rücksichten folgende Anordnungen — vorenthaltlich der nach Maßgabe weiterer Erfahrungen vorzunehmenden definitiven Regelung — getroffen:

A. Betreffend das Calcium-Carbid.

Betriebsanlagen.

§ 1.

Die Betriebsanlagen für gewerbemäßige Herstellung von Calcium-Carbid, sowie, wenn hiebei Carbid in der im § 4 bezeichneten Menge eingelagert wird, auch für den Handel mit diesem Produkte unterliegen gemäß § 25 des Gewerbegesetzes vom 15. März 1883, R.-G.-Bl. Nr. 39, vor ihrer Inbetriebsdtzung der gewerbebehördlichen Genehmigung und hat bei Errichtung von Calcium-Carbid Fabriken zufolge Z. 5 des § 27 des citierten Gesetzes, das in diesem Gesetze für derartige Betriebsanlagen vorgeschriebene Edictalverfahren Anwendung zu finden.

Deponierung.

§ 2.

Das Calcium-Carbid ist ohne Unterschied der Quantität stets in gas- und wasserdicht verschlossenen Metallbehältern aufzubewahren.

Gelangt nicht der ganze Inhalt eines Behälters auf einmal in Verwendung, so ist das Carbid demselben nur nach Maßgabe des jeweiligen augenblicklichen Bedarfes zu entnehmen.

Die Carbidbehälter sollen derart beschaffen sein, dass der Verschluss derselben nach einer nur theilweisen Entleerung leicht und sicher wieder hergestellt werden kann.

Die Metallbehälter haben an der Vorderseite in auffälligen Lettern die Aufschrift zu tragen: „Calcium-Carbid! Stets gut verschlossen und trocken zu halten!“

Die Behälter dürfen nicht aus dem im § 29 bezeichneten Metallen hergestellt sein.

§ 3.

Die Deponierung des Calcium-Carbids bis zu einem Quantum von 150 *kg* ist in Wohngebäuden gestattet, wobei jedoch in je einem Metallbehälter nicht mehr als 50 *kg* Carbid enthalten sein dürfen.

Die hiefür bestimmten Räume müssen gegen Feuersgefahr und gegen Eindringen von Feuchtigkeit möglichst geschützt sein. Kellerräume sind unter allen Umständen ausgeschlossen.

§ 4.

Calcium-Carbid in Mengen von mehr als 150 *kg* muss, wenn die Einlagerung voraussichtlich nicht länger als drei Tage dauern wird, unter Beobachtung der im § 3 verlangten Vorsichten in abgeschlossenen Magazinen verwahrt werden. Wenn es sich um die voraussichtlich längere Lagerung von Calcium-Carbid in Mengen von mehr als 150 *kg* handelt, müssen für diesen Zweck eigene Magazine verwendet werden, in welchen außer den zur Reinigung des Acetylens verwendeten Chemikalien keine sonstigen Materialien gelagert werden dürfen.

Diese Magazine müssen feuersicher gebaut, mit leichtem Dach versehen sein, dürfen nur feuersicher absperrbare Thür- und Fensteröffnungen besitzen und nicht in einem Inundationsgebiete stehen, noch auch aufsteigbaren Grundwässern erreichbar sein.

Die Ventilation muss eine ausgiebige sein, die Ventilationsöffnungen (Schläuche) sind stets offen zu halten, dürfen überhaupt keine verschließbaren Vorrichtungen besitzen und müssen so beschaffen sein, dass Regen und Schnee nicht durch dieselben in die Magazine dringen, dagegen aber das Gas auch von den höchst gelegenen Punkten des Raumes entweichen kann.

In den Magazinsräumen darf nicht mit offenem Lichte manipuliert werden; eine eventuelle künstliche Beleuchtung hat von außen unter gehörigem Glasverschlusse gegen den Magazinsraum zu geschehen.

Das Rauchen ist in diesen Räumen verboten.

§ 5.

In Verkaufslokalen kann Calcium-Carbid bis zu 20 *kg* aufbewahrt werden.

Manipulation.

§ 6.

Die Zerkleinerung des Calcium-Carbids muss mit möglichster Vermeidung jeder Staubentwickelung erfolgen; bei umfangreicheren Arbeiten dieser Art sind die Arbeiter mit Respiratoren und Schutzbrillen zu versehen.

Versendung.

§ 7.

Die Versendung des Calcium-Carbids darf nur in gas- und wasserdichten Metall-Behältern erfolgen, deren Verschluss die möglichste Gewähr gegen eine unbefugte Eröffnung bietet.

B. Betreffend das Acetylen.

I. Allgemeine Bestimmungen.

Flüssiges Acetylen.

§ 8.

Auf flüssiges Acetylen haben die Bestimmungen des Gesetzes vom 27. Mai 1885, R.-G.-Bl. Nr. 134, gegen den gemeingefährlichen Gebrauch von Sprengstoffen und die gemeingefährliche Gebarung mit demselben und der zu diesem Gesetze erlassenen Verordnungen Anwendung zu finden.

Die Herstellung und Verwendung flüssigen Acetylens — wissenschaftliche Versuche im Laboratorium ausgenommen — ist dermalen unzulässig.

Gasförmiges Acetylen.

§ 9.

Comprimiertes Acetylengas, d. h. mit einem Drucke von mehr als 1·1 Atmosphären absolut (§ 32) darf nur in Mischungen mit anderen Gasen über specielle Bewilligung der politischen Landesbehörden erzeugt und angewendet werden.

Eine Mischung von Acetylengas und Fettgas, in welcher höchstens 50% Acetylengas enthalten sein darf, kann einem Drucke bis zu zehn Atmosphären (absolut) ausgesetzt werden.

Bei Mischungen von Acetylen mit anderen Gasen ist ein Druck bis zu sechs Atmosphären (absolut) gestattet.

Die Mischungsverhältnisse müssen einen von der kompetenten Behörde als zulässig erachteten Grad der Sicherheit gegen Explosion besitzen. Der betreffende Gesuchsteller hat sich genau an die limitierten Mischungsverhältnisse zu halten.

Die Mischung von Acetylen mit atmosphärischer Luft ist unter allen Umständen untersagt.

Im übrigen ist die Erzeugung gasförmigen Acetylens nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen gestattet.

§ 10.

Die Betriebsanlagen für gewerbemäßige Erzeugung von Acetylengas unterliegen gemäß § 27, Punkt 28, der Gewerbeordnung der gewerbebehördlichen Genehmigung Zu der commissionellen Verhandlung über die Betriebsanlage hat die Gewerbebehörde einen im Fache erfahrenen Sachverständigen beizuziehen.

§ 11.

Die Aufstellung stabiler Apparate zur Erzeugung von Acetylengas für nicht gewerbliche Zwecke, sowie wesentliche Änderungen an solchen Apparaten dürfen nur von dem nach § 13 concessionierten Acetylengas-Installateuren vorgenommen werden und siud von den letzteren vor Beginn der Installationsarbeiten der politischen Behörde I. Instanz unter Bekanntgabe des Systems des Apparates und unter Bezeichnung des Raumes, wo dessen Aufstellung beabsichtigt ist, anzuzeigen.

Die genannte Behörde ist berechtigt, soferne es ihr aus öffentlichen Rücksichten geboten erscheint, sich in einem von ihr für geeignet erachteten Zeitpunkte an Ort und Stelle von der Beobachtung der bestehenden Vorschriften von amtswegen zu überzeugen. Dieselbe hat die Abstellung etwa vorgefundener Vorschriftswidrigkeiten zu veranlassen, eventuell, wenn es Rücksichten des öffentlichen Interesses erheischen, die Sistierung des Betriebes zu verfügen.

Die Aufstellung und der Betrieb stabiler Apparate der im § 17, lit *g* und *h*, bezeichneten Kategorie, sowie die Vornahme wesentlicher Änderungen an solchen Apparaten sind an eine besondere Bewilligung der im ersten Absatze bezeichneten Behörden geknüpft, welche nach Einvernahme der Gemeindebehörde auf Grund einer unter Zuziehung von Sachverständigen, Interessenten und Vertretern der Gemeinde an Ort und Stelle vorzunehmenden commissionellen Verhandlung ertheilt werden kann. In solchen Fällen hat die im ersten Absatze vorgeschriebene Anzeige die nöthigen Pläne und Beschreibungen der Anlage zu enthalten und darf mit den betreffenden Arbeiten erst nach erhaltener behördlicher Bewiligung begonnen werden.

§ 12.

In den Fällen der §§ 10 und 11 ist von der commissionierenden, beziehungsweise revidierenden Behörde gleichzeitig die Erfüllung der im vorhergegangenen Abschnitte hinsichtlich der Deponierung des Calciumcarbids gegebenen Vorschriften sicher zu stellen.

Concessionspflicht.

§ 13.

Die gewerbemäßige Aufstellung stabiler Apparate, beziehungsweise Ausführung von Acetylengas-Leitungen und -Beleuchtungseinrichtungen ist gemäß § 15, Z. 17 der Gewerbeordnung an eine Concession gebunden.

Bewerber um eine solche Concession haben außer den allgemeinen Bedingungen des § 23 der Gewerbeordnung ihre besondere Befähigung nach den Bestimmungen des Punktes 8 der Ministerialverordnung vom 17. September 1883, R.-G.-Bl. Nr. 151, nachzuweisen.

Die hiernach concessionierten Gasinstallateure sind verpflichtet, über die von ihnen zur Ausführung übernommenen Acetylengasarbeiten eine — von den etwa gleichzeitig ihnen obliegenden Vormerkungen über Leuchtgasarbeiten (§ 2 der Ministerialverordnung vom 9. Mai 1875, R.-G.-Bl. Nr. 76) abgesonderte — genaue chronologische Vormerkung zu führen, in welche die Gewerbebehörden I. Instanz jederzeit Einsicht nehmen kann.

Prüfung der Apparate.

§ 14.

Für Acetylengasanlagen aller Art (§ 17, lit *a* bis *h*) dürfen nur solche Apparate in den Verkehr gebracht werden, deren System von der politischen Landesbehörde, in deren Verwaltungsgebiete sich der Standort der den Vertrieb beabsichtigenden Firma befindet, auf Grund fachmännischer Prüfung für zulässig erklärt ist.

Hierbei ist auch die Richtigkeit und Vollständigkeit der von der einschreitenden Firma im Entwurfe beizubringenden, im § 15 vorgesehenen Beschreibung (Belehrung) zu überprüfen.

Liegt der Standort der Firma außerhalb des Geltungsgebietes dieser Verordnung, so ist zur Zulässigkeitserklärung jene politische Landesbehörde berufen, in deren Verwaltungsgebiete die Firma Niederlagen ihrer Apparate errichten oder Apparate aufstellen will.

Beigabe einer Belehrung zum Apparate.

§ 15.

Jedem Apparate muss eine genaue Beschreibung seiner Konstruktion, sowie seiner Handhabung und Bedienung beigegeben sein, welche auch die nöthigen Anhaltspunkte für die Beurtheilung einer entsprechenden Reinheit des Gases anzugeben hat.

Diese Beschreibung hat ferner die nach § 14 dieser Verordnung erfolgte Genehmigung des bezüglichen Systems unter Nennung der betreffenden Behörde und der Daten ihres Genehmigungsbescheides auszuweisen, sowie eine Belehrung zu enthalten über die Behandlung und über die Eigenschaften des Calciumcarbids und des Acetylengases, über die aus denselben resultierenden eventuellen Gefahren und über das zur Vermeidung, beziehungsweise bei Eintritt der letzteren zu beobachtende Verhalten.

Diese Beschreibung, beziehungsweise Belehrung ist im Apparatenraume an augenfälliger Stelle verglast aufzuhängen.

Bedienung der Apparate.

§ 16.

Alle Apparate sind nur von geeigneten und verlässlichen Personen zu bedienen. Handelt es sich um Anlagen, welche auf einen gleichzeitigen Acetylenconsum von mehr als 1000 Stundenlitern eingerichtet sind, oder um stabile, auf einen geringeren Konsum eingerichtete Apparate, welche derart konstruiert sind, dass die Entleerung, sowie die Neubeschickung mit Carbid durch Öffnen von mit Acetylengas gefüllten Apparatentheilen oder überhaupt durch Manipulationen an solchen Apparatentheilen erfolgt, so hat die nach § 10, beziehungsweise nach § 11 kompetente Behörde über die diesfällige Eignung der vom Inhaber der Anlage namhaft zu machenden Personen unter Bedachtnahme auf die Größe der Anlage zu entscheiden.

II. Besondere Bestimmungen.

a) Für Acetylengaserzeugungs-Apparate.

Gliederung nach dem System und der Verwendung der Apparate.

§ 17.

Die Apparate zur Erzeugung von Acetylengas gliedern sich:

1. hinsichtlich ihres Systemes in:

a) Apparate, bei denen das Wasser in kleinen Mengen auf das Calciumcarbid tropft oder fließt,

b) Apparate, bei denen das gesammte Calciumcarbid in das Wasser gesenkt wird,

c) Apparate, bei denen das Wasser von unten an das Calciumcarbid heransteigt,

d) Apparate, bei denen das Calciumcarbid portionsweise in das Wasser fällt;

2. hinsichtlich der Art ihrer Verwendung in:

e) Portative Apparate in Form von Tischlampen, Projektionslampen, Wagen- und Fahrradlaternen, Gasöfen etc.

f) stabile Hausapparate zur Beleuchtung von Wohnräumen und Wohngebäuden,

g) Apparate zur Beleuchtung von Gebäuden, in welchen sich dauernd oder zeitweilig eine größere Anzahl von Menschen aufhält (wie Gasthäuser, Fabriken, große Gewerbeetablissements, Spitäler etc.),

h) Apparate zur Beleuchtung von Städten, Stadttheilen, Ortschaften oder größeren Gebäudecomplexen (Centralanlagen).

§ 18.

Apparate des Systems *a*) dürfen nur bei portativen Lampen und Laternen in Anwendung kommen.

Diese Apparate sind vorläufig im allgemeinen nur als Fahrrad- und Wagenlaternen zulässig, zum Gebrauche in Wohnräumen dagegen nur dann, wenn der Brenner mittels eines Hahnes vom Gasbehälter abgesperrt und das bei der Nachvergasung sich entwickelnde Acetylen in einer gefahrlosen Weise im Apparate zurückbehalten werden kann.

§ 19.

Für Acetylengasanlagen, die auf einen gleichzeitigen Acetylenconsum von mehr als 1000 Stundenlitern eingerichtet sind, dürfen keine Apparate verwendet werden, bei welchen die Entfernung des Wassers und der Rückstände, sowie die Neubeschickung mit Carbid durch Öffnen von mit Acetylengas gefüllten Apparatentheilen oder überhaupt durch Manipulationen seitens des Bedienungspersonales an solchen Apparatentheilen erfolgt.

Wenn die Apparate im automatischen Betriebe eingerichtet sind, sollen die automatischen Vorrichtungen streng auf sicheres Funktionieren in allen möglichen Fällen überprüft werden.

§ 20.

Apparate der Systeme *b*) und *c*) dürfen nur dann in Anwendung kommen, wenn der Nachweis erbracht wird, dass eine Nachvergasung bei demselben nicht stattfindet oder dass eine solche nicht hinderlich oder schädlich wirken kann.

Von der politischen Landesbehörde gemäß § 14 genehmigte Apparate des Systems *d*) sind rücksichtlich ihrer Verwendung an weitere Beschränkungen nicht gebunden. Bei den einzelnen Apparaten dieses Systems muss der Gasbehälter groß genug sein, um die von einer Carbidportion entwickelte Gasmenge aufzunehmen.

§ 21.

Apparate der Kategorie *f)* dürfen in den Wohnräumen selbst nicht aufgestellt werden, können jedoch in Nebenräumen Souterrainräumen, welche nicht zu Wohnzwecken benützt werden, dann untergebracht werden, wenn die jeweilige mit Wasser in Kontakt kommende Carbidmenge 2 *kg* nicht übersteigt und der Gassammler nicht mehr als 600 *l* Gas aufzunehmen imstande ist.

Diese Räume, welche zu keinem anderen Zwecke zu verwenden sind, müssen mindestens so groß sein, dass deren Gesammtfläche das Dreifache der von den Apparaten bedeckten Bodenfläche beträgt.

Kellerräume sind von der Verwendung zur Aufstellung der im ersten Absatze erwähnten Apparate unter allen Umständen ausgeschlossen.

§ 22.

Die Apparate der Kategorie *g)* sind immer in einem eigens hierzu bestimmten feuersicheren mit einem leichten Dache versehenen Gebäude aufzustellen.

Dieses Gebäude ist von Wohngebäuden 10 *m* entfernt anzubringen oder durch eine Brandmauer von denselben zu trennen, wenn die jeweilige mit Wasser in Kontakt kommende Carbidmenge 25 *kg* übersteigt und der Gassammler mehr als 8 m^3 Gas aufzunehmen imstande ist.

Für Anlagen deren Leistungsfähigkeit die eben erwähnte Grenze nicht übersteigt, genügt eine Entfernung von 5 *m* von Wohngebäuden.

§ 23.

Apparate der Kategorie *h)* (Centralanlagen) sind so aufzustellen, dass der Gaserzeuger und der Gassammler sich in von einander getrennten Gehäusen befinden. Der Gassammler kann auch im Freien untergebracht werden.

Die Anlage ist von Wohngebäuden 10 *m* entfernt anzubringen oder durch eine Brandmauer von denselben zu trennen. Dieselbe ist überdies mit Blitzableitern zu versehen und durch eine Einfriedung gegen die Annäherung Unberufener zu sichern.

Beschaffenheit der Räume.

§ 24.

Alle Räume, in welchen Acetylengasapparate der Kategorie *f)*, *g)* und *h)* aufgestellt werden sollen, müssen wasserundurchlässig gepflastert, ausreichend ventilierbar sein und hinreichendes Tageslicht, sowie nach außen aufschlagbare Thüren erhalten.

Die Ventilationsöffnungen dürfen keine verschließbaren Vorrichtungen besitzen, müssen also stets offen gehalten werden, dabei aber so beschaffen sein, dass Regen und Schnee nicht durch dieselben eindringen kann. Ihre Anbringung hat derart zu erfolgen, dass Gas auch von den höchstgelegenen Punkten des Raumes entweichen kann.

In diesen Räumen sind keinerlei Feuerstellen anzubringen und dürfeu dieselben nur von außen hinter Glasverschluss beleuchtet werden.

Kennzeichnung der Räume.

§ 25.

Bei allen im § 24 bezeichneten Räumen ist an der Eingangsthür eine Tafel anzubringen mit dem Inhalte: „Acetylengasanlagen! Fremden ist der Eintritt verboten. Jede Manipulation mit offenem Licht, sowie das Rauchen sind strengstens untersagt.“

Maßnahmen bei Ausbruch eines Feuers.

§ 26.

Wenn in der Nähe der Anlage Feuer zum Ausbruche kommt, darf der Haupthahn nicht früher abgesperrt werden, bevor nicht volle Gewissheit darüber besteht, dass in jenen gefährdeten Räumen, in welche sich die Rohrleitung erstreckt, keine Personen mehr anwesend sind.

Zum Löschen einer allfälligen Feuersbrunst ist im Lokale stets Sand, Asche oder Erde bereit zu halten.

§ 27.

Die Ortsfeuerwehr ist mit solchen Anlagen bekannt zu machen.

Manipulation bei Beschickung und Entleerung der Apparate.

§ 28.

In dem Raume, in welchem sich der Erzeuger befindet, darf nie gleichzeitig mit Wasser und Carbid manipuliert werden. Erst nach Beschickung des Apparates mit Wasser ist die Manipulation mit Carbid vorzunehmen.

Die Entleerung der Rückstände muss bei allen Apparaten so erfolgen, dass keine solche Quantität von Acetylengas entweicht, die im Lokale explosible Gasluftgemische erzeugen könnte.

Apparate, die das Calcium-Carbid so unvollständig zersetzen, dass im Rückstande größere unvergaste Carbidstücke oder große Mengen von Acetylengas nachgewiesen werden, sind nicht zulässig.

Nicht verwendbare Metalle.

§ 29.

Zur Konstruction von Apparaten, in welchen Acetylengas erzeugt werden soll, dürfen, insoweit das Materiale mit Calcium-Carbid oder Acetylengas in Berührung kommen kann, Metalle, welche mit Acetylen explosible Verbindungen eingehen, insbesondere Kupfer und Quecksilber, nicht in Verwendung genommen werden.

Konstruktion der Apparate.

§ 30.

Der Vergaser muss mit der Gasglocke durch feste Rohre verbunden sein; Schläuche jeder Art sind hier unzulässig.

Apparatentheile, die Acetylengas enthalten, dürfen bei stabilen Apparaten nicht gelöthet, sondern müssen genietet oder patentgeschweißt sein.

§ 31.

Bei Anlagen, deren System nicht schon von vornherein die Überschreitung des zulässigen Druckes ausschließt, sind Manometer überall dort anzubringen, wo eine Drucküberschreitung stattfinden kann.

Wassermanometer müssen absperrbar und doppelt so lang sein, als es für den normalen Druck nothwendig wäre.

Quecksilbermanometer sind unbedingt ausgeschlossen.

Zulässiger Gasdruck.

§ 32.

Der Gasdruck in den Gaserzeugeru, Gasbehältern, Rohrleitungen und sonstigen Theilen der Anlage darf 1·1 Atmosphäre (100 *cm* Überdruck) nicht übersteigen. (§ 9.)

Bedeutende Druckschwankungen sollen im Erzeuger in keinem Momente des Betriebes vorkommen.

Sicherheitsventil.

§ 33.

Jeder Apparat muss mit einem Sicherheitsventile oder einem Überlaufrohre versehen sein.

Jedenfalls muss das ausströmende Gas direkt ins Freie geleitet werden. Das zu diesem Zwecke angebrachte Überlaufrohr, beziehungsweise das Ableitungsrohr vom Sicherheitsventile mündet am besten über Dach. Keinesfalls darf das Rohr in der Nähe von Wohnräumen und Fenstern oder derart angebracht werden, dass das Gas von unbefugter Hand angezündet werden kann; auch ist die Nähe der Kamine zu vermeiden.

Das Rohr muss gegen das Eindringen von Regen und Schnee gehörig geschützt sein.

Sperrflüssigkeit.

§ 34.

Wo bei Gasbehältern die Gefahr des Einfrierens nicht auf andere geeignete Weise beseitigt erscheint, ist als Sperrflüssigkeit eine Kochsalzlösung zu verwenden.

Zulässige Temperatur.

§ 35.

Die Temperatur, welche durch die Zersetzung des Calcium-Carbids mit Wasser im Gasraume des Entwicklers erzeugt wird, darf in keinem Augenblicke des Vergasungsprocesses 50° C. übersteigen.

Ausgenommen sind nur portative einflammige Apparate, bei welchem eine Temperatur von 80° C. zulässig ist.

Reinigungs- und Trockenvorrichtungen.

§ 36.

Bei stabilen Acetylengasanlagen sind, soferne dieses System das nicht überflüssig macht, Wäscher, jedenfalls aber Reinigungs- und Trockenapparate einzuschalten, und ist mit besonderer Sorgfalt darauf zu sehen, dass das Gas thunlichst unmittelbar nach der Erzeugung, jedenfalls aber vor dem Haupthahne von den beigemengten Verunreinigungen, namentlich Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Phosphorwasserstoff befreit wird.

Ob die Reinigung des Gases eine genügende ist, wird insbesondere bei der Prüfung des Systems unter Festhaltung der Thatsache zu konstatieren sein, dass der Reiniger hinlänglich groß ist, um alle Beimengungen bis auf unschädliche Quantitäten zu beseitigen.

Vorsichtsmassregeln bei Reparaturen.

§ 37.

An Apparaten sind Reparaturen, bei welchen Stichflammen in Verwendung kommen, nur dann vorzunehmen, wenn in keinem Apparatentheile im Bereiche der Reparatur Gas enthalten und die betreffende Stelle durch Schließen der Hähne isoliert ist.

Signalvorrichtungen.

§ 38.

Bei automatisch wirkenden Systemen sind Signalvorrichtungen anzubringen, welche den höchsten und den niedrigsten zulässigen Stand der Glocke anzeigen.

Diese Signalvorrichtungen müssen jedoch so beschaffen sein, dass das Entstehen von Funken im Innern des Apparatenraumes ausgeschlossen ist.

b) Leitungen und Beleuchtungsgegenstände.

§ 39.

Für die Acetylengasleitungen haben im allgemeinen die Bestimmungen des Gasregulativs (Ministerialverordnung vom 9. Mai 1875, R.-G.-Bl. Nr. 76) zu gelten, jedoch ist für die Manometerproben nicht eine Wassersäule von 237 *mm*, sondern mindestens eine solche von 350 *mm* bei einem Brennerdrucke von mehr als 117 *mm* aber der dreifache Brennerdruck zur Grundlage zu nehmen. Der Druckverlust darf während 5 Minuten nicht mehr als 20 *mm* betragen.

Verwendung bestehender Gasleitungen.

§ 40.

Bestehende Leitungen für Steinkohlengas können für Acetylengas verwendet werden, wenn eine vorzunehmende Prüfung derselben ergibt, dass diese Leitungen die für Acetylengas erforderliche höhere Dichtung besitzen.

Materiale für die Leitungen.

§ 41.

Zu den Leitungen ist in der Regel nur Eisen und Blei zu verwenden, jedenfalls sind die im § 29 vorgesehenen Metalle, insbesondere Kupfer, von der Verwendung unbedingt ausgeschlossen. Gummischläuche sind nur als Verbindungen mit beweglichen Lampen, Gasöfen etc. gestattet, jedoch muss jeder Schlauch von der currenten Leitung durch einen Hahn abgeschlossen werden können, wogegen an der Lampe, dem Gasofen etc. ein solcher Absperrhahn nicht angebracht werden darf.

Bleirohre dürfen nur dort, wo sie mechanischen Beschädigungen nicht ausgesetzt und stets freiliegend sind, in Anwendung gebracht werden.

§ 42.

Bei Leitungen in Wohnungen haben die Gewinde eine Länge zu erhalten, die dem äußeren Rohrdurchmesser mindestens gleichkommt; die Gewinde der Brenner müssen mindestens 1 *cm* lang sein.

Entfernung der ersten Flamme vom Gasbehälter.

§ 43.

Bei stabilen Apparaten muss die dem Gasbehälter zunächst anzubringende Flamme mindestens 3 *m*, längs des Rohres gemessen, vom Gasbehälter entfernt sein.

c) Abfuhr und Verwertung der Rückstände.

§ 44.

Die Rückstände aus dem Acetylenbeleuchtungs-Apparaten sind im allgemeinen auf unschädliche Weise zu beseitigen. Sie können in Senkgruben geschüttet, von Zeit zu Zeit auf das Feld verführt oder zur Mörtelbereitung oder zum Kalkanstriche der Wände verwendet werden.

§ 45.

Eine Beseitigung der Rückstände durch Ausschütten in die Aborte ist nur bei den Apparaten der Kategorie *e)* und *f)* des § 17, und zwar nur dann zulässig, wenn die

Beseitigung nach gründlicher Vermischung mit einem mindestens zehnfach größeren Wasserquantum erfolgt und wenn eine Kanalisation mit Wasserspülung vorhanden ist.

Ist eine Kanalisation mit hinreichender Wasserspülung nicht vorhanden, so sind die Rückstände aus den bezeichneten Apparaten auf die im § 44 angegebene Weise zu beseitigen.

Für die Rückstände aus den Apparaten der Kategorie *g)* und *h)* des § 17 sind eigene wasserundurchlässige Gruben mit genau passendem Deckel anzulegen, deren Inhalt von Zeit zu Zeit auf das Feld zu verführen ist oder zur Mörtelbereitung oder zum Kalkanstriche der Wände verwendet werden kann.

Straf- und Schlussbestimmungen.

§ 46.

Übertretungen der Bestimmungen dieser Verordnungen werden, insoferne sie nicht unter das allgemeine Strafgesetz oder unter die Strafbestimmungen der Gewerbeordnung oder anderer Gesetze fallen, gemäß der Ministerialverordnung vom 30. September 1857, R.-G.-Bl. Nr. 198 mit Geldstrafen von 2 bis 200 *K* oder mit Arrest von 6 Stunden bis zu 14 Tagen geahndet.

§ 47.

Für den Bereich der Eisenbahnen haben die Bestimmungen dieser Verordnung insoferne in Anwendung zu kommen, als sie sich nicht auf gewerbemäßige Betriebe (Artikel V, lit *l* des Kundmachungspatentes zur Gewerbeordnung vom 20. December 1859, R.-G.-Bl. Nr. 227) beziehen und nicht besondere Vorschriften über den Transport auf Eisenbahnen und die Einlagerung in Eisenbahnmagazine anderweitige Anordnungen enthalten.

Hierbei ist jedoch an Stelle der in den §§ 9, 11, 14 und 16 bezeichneten Behörden, soweit es sich um den Betrieb der Eisenbahnen handelt, die Eisenbahnaufsichtsbehörde (§ 8 der Kundmachung vom 19. Jänner 1896, R.-G.-Bl. Nr. 16) zu den dort vorgesehenen Amtshandlungen berufen, welche in den Fällen, wo die Aufstellung von Acetylenapparaten an eine besondere behördliche Bewilligung geknüpft ist (§ 11, Absatz 3), vor der Entscheidung das Einvernehmen mit der politischen Landesbehörde zu pflegen hat. Der genannten Aufsichtsbehörde steht es auch frei, die in § 11, Absatz 1, bezeichneten Arbeiten solchen entsprechend qualificierten Eisenbahnorganen zu übertragen, welche sich nicht im Besitze der im § 13 vorgesehenen Concession befinden.

§ 48.

Diese Verordnung tritt mit dem Tage ihrer Kundmachung in Kraft.

Koerber m. p. Wittek m. p.

Call m. p.

Namen- und Sachverzeichnis.

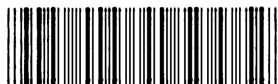
Die Namen, Firmen und Zeitschriften sind gesperrt gesetzt.

Druckfehler.

Seite	21,	Zeile	4	von	unten	lies	stellte, statt stelllte.
„	24,	„	1	„	„	„	Wasserzersetzungsapparate statt Wasserzersetzugsapparate.
„	25,	„	9	„	„	„	Paraffin, statt Peraffin.
„	27,	„	9	„	oben	„	metallisches, statt metalisches.
„	27,	„	6	„	unten	„	Diaphragma, statt Diaphagma.
„	38,	„	18	„	oben	„	gestatte, statt gestattet.
„	45,	„	14	„	unten	„	Fig. 27. Borchers-Gaselement, statt Fig. 27. Bunsen-Gaselement.

„ 60 unter der Figur lies Fig. 38. Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft eines Thermoelementes von der Temperaturdifferenz, statt Fig. 38. Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft eines Thermoelementes vor der Temperaturdifferenz.

K. u. K. Hofbuchdruckerei Karl Prochaska in Teschen.


89089682942
B89089682942A

